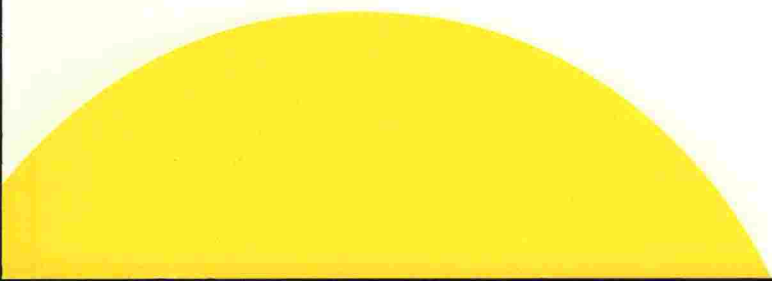


Vähäliikenteisten teiden siltojen taloudellinen ja turvallinen ylläpito

Vaihe 2

Vähäliikenteisten teiden taloudellinen ylläpito -tutkimusohjelma

Tiehallinnon selvityksiä 29/2005



Vähäliikenteisten teiden siltojen taloudellinen ja turvallinen ylläpito

Vaihe 2

Vähäliikenteisten teiden taloudellinen ylläpito -tutkimusohjelma

Tiehallinto

Helsinki 2005

Kansikuva: 25.6.2003 Brusilanjoen silta KeS 235

ISSN 1457-9871
ISBN 951-803-516-4
TIEH 3200941

Verkkojulkaisu (<http://www.tiehallinto.fi/julkaisut>) pdf
ISSN 1459-1553
ISBN 951-803-517-2
TIEH 3200941-v

Edita Prima Oy
Helsinki 2005

Julkaisua myy:
Edita Prima Oy
Sähköposti: asiakaspalvelu.prima@edita.fi
Puhelin: 020 450 011
Faksi: 020 450 2470



TIEHALLINTO
Siltatekniikka
Opastinsilta 12 A
PL 33
00521 HELSINKI
Puhelinvaihte 0204 2211

Avainsanat: sillat, ylläpito, taloudellisuus, turvallisuus
Aiheluokka: 35, 43, 70

TIIVISTELMÄ

Tässä tutkimuksessa selvitettiin ne vähäliikenteisten teiden sillat, joiden kantavuus nykykuormille on riittämätön ja laadittiin silloille jatkotoimenpide-ehdotukset sekä laskettiin näiden toimenpiteiden kustannukset. Lisäksi laadittiin kaikkien vähäliikenteisten siltojen hoidon ja ylläpidon kustannusnusteet eri pituisille ajanjaksoille sekä kustannukset kantavuudeltaan puutteellisten siltojen poistamiselle. Tutkimuksen vaiheessa 1 oli tutkittu vähäliikenteisten siltojen tyyppiä, pituutta, suunnittelu-kuormaa ja kuntoa. Lisäksi oli selvitetty vanhojen suunnittelukuormien kuormakaaviot ja nykyiset todelliset liikennekuormat (akselimassatutkimus, metsäkone- ja murskainkuljetukset sekä ajoneuvonosturit).

Vähäliikenteisten siltojen kantavuuden riittävyttä on arvioitu vertaamalla laskennallisia mitoituskuormia suunnittelukuormiin ja/tai siltojen arvioituihin kantavuuksiin. Laskennallisina mitoituskuormina on käytetty 1990-luvun ajoneuvoasetuksen mukaista ajoneuvokuormaa sekä metsätyökonekuljetusajoneuvojen, ajoneuvonosturien ja murskainkuljetusten mitattuja painoja. Kantavuutta on arvioitu myös Tiehallinnon 1990-luvulla tehdyn akselimassatutkimuksen mukaisille todellisille liikennekuormille. Teräsputki- ja teräsholvisiltojen kantavuus on arvioitu teräksen ainespaksuuden ja teräsrakenteen peitesyvyiden mukaan.

Siltojen luotettavuuden laskentaan kehitettiin tilastolaskentaan perustuva menetelmä, joka huomioi todelliset liikennemäärät sekä akseli- ja telipainot tai ajoneuvojen kokonaispainot. Lisäksi pitkille silloille, joille mahtuu yksi tai useampia ajoneuvoyhdistelmiä, luotiin kuormamalli, joka huomioi ajoneuvon tyypin ja massan lisäksi todellisen liikenteen jonojen ja vastaan tulevien ajoneuvojen mahdollisuuden. Eri siltapituuksille määritettiin kerran sadassa vuodessa esiintyvä laskennallisesti määräävin kuormitus ja tutkittiin, millä todennäköisyydellä silta menettää kantavuutensa tälle kuormalle. Näiden todennäköisyyksien avulla määritettiin vähäliikenteisille silloille vaadittavat kantavuuslaskentaohjeen mukaisen kuorman osavarmuuskertoimet, jolloin laskenta palautui tavanomaiseksi kantavuuslaskennaksi osavarmuuskertoimilla.

Tutkimuksen lopputuloksena on saatu lista vähäliikenteisistä silloista, joissa on kantavuuspuutteita ja painorajoituksia. Lähtökohtana oli tutkimuksen vaiheen 1 perusteella noin 460 selvitettävää painorajoittamatonta, kantavuudeltaan puutteellista siltaa. Näiden siltojen määrä väheni tutkimuksen perusteella lähes kolmella sadalla eli noin 65 prosenttia, painorajoitetut sillat huomioon ottaen noin 50 prosenttia. Painorajoitettuja siltoja ei ole käsitelty laskennallisesti, joten niiden kantavuutta ei ole erikseen selvitetty, jolloin niiden määrää ei voida vähentää tämän tutkimuksen perusteella.

Taloudellisen ja turvallisen ylläpidon kannalta kiireellisimmät toimenpiteet tässä tutkimuksessa määritetyille kantavuudeltaan puutteellisille silloille ovat kantavuuden tarkistus ja parhaalla mahdollisella asiantuntemuksella tehty yleistarkastus, jossa määritetään tehostetun tarkkailun tarve ja tarkkailussa erityisesti seurattavat kriittiset rakenneosat. Painorajoitettujen siltojen tehostetun tarkkailun tarve ja sisältö tulee tarkistaa samalla tavalla.

Määritetyistä kustannuksista voidaan todeta, että kaikkien vähäliikenteisten siltojen hoito- ja ylläpitokulut (n. 6,1 milj. € / vuosi) ovat huomattavasti suuremmat kuin kantavuuspuutteiden poistamiseen vaadittavien jatkotoimenpiteiden kustannukset (n. 2,1 milj. € / vuosi, kun kantavuuspuutteet uusitaan 20 vuoden aikana). Kun verrataan kantavuudeltaan puutteellisten siltojen aiheuttamia kiertotiekustannuksia silloille tarpeellisten ylläpitotoimenpiteiden kustannuksiin, nähdään kiertotiekustannusten olevan jo lyhyellä aikavälillä (5–10 vuotta) suuremmat kuin kaikki toimenpidekustannukset. Teoreettisen kiertotiekustannustarkastelun perusteella kantavuuspuutteiden poistaminen on siis taloudellisesti kannattavaa.

SAMMANFATTNING

I denna undersökning gjordes en utredning gällande det lågt trafikerade vägnätets broar, vilka har otillräcklig bärighet i relation till nutida laster, utarbetades ett förslag till fortsatta åtgärder samt beräknades kostnaderna för dessa åtgärder. För olika långa tidsperioder gjorde man dessutom en kostnads kalkyl gällande drift och underhåll av samtliga broar på det lågt trafikerade vägnätet och beräknade skilt kostnaderna för avskaffandet av alla så kallade problembroar, som har låg bärighet. I undersökningens första fas hade man utredd brotyper, spännvidder, dimensioneringslaster och tillstånd. Dessutom hade man klargjort de gamla dimensioneringslasternas lastschema och de verkliga lasterna (Axeltrycksundersökningen, transport av skogsavverkningsmaskiner, stenkrossanläggningar och lyftkranar).

Den tillräckliga bärigheten hos broarna på det lågt trafikerade vägnätet har man uppskattat genom att jämföra beräknade dimensioneringslaster med de dimensioneringslaster man använt i planeringen och/eller uppskattat. Som beräknade dimensioneringslaster har man använt största tillåtna fordonslaster i 1990-talets fordonsstadgar, uppmätta laster för transportfordon av skogsavverkningsmaskiner, lyftkranar och transporter av stenkrossanläggningar. Bärigheten har också uppskattats på basen av de verkliga fordonslasterna, som redovisats i en axeltrycksundersökning gjord av Vägförvaltningen på 1990-talet. Bärigheten hos stålörsbroar och stålvalvsbroar har bestämts via stålets godstjocklek och stålkonstruktionens täckskikt.

För bestämmandet av bronns tillförlitlighet utvecklades en metod, som baserar sig på sannolikhetskalkyl, som tar i beaktande den verkliga trafikmängden och som baserar sig på verkliga axel- och boggitryck samt fordonens totallast. Dessutom gjordes för längre broar med utrymme för två eller flera ekipage en belastningsmodell, som tar i beaktande möjliga fordonstyper, variationen i totallasten och möjligheten till fordonsköer samt mötande trafik. Man beräknade för olika brolängder den dimensionerande trafiklast, som kan återkomma en gång per 100 år och dessutom sannolikheten för att bron förlorar sin bärighet under denna trafiklast. Med tillhjälp av denna sannolikhetskalkyl bestämde man för broarna på det lågt trafikerade vägnätet de erforderliga partialkoefficienterna, vilka man bör använda för lastkombinationerna angivna i anvisningarna för broars bärighetsberäkning. På detta sätt återgick beräkningarna till sedvanlig bärighetsberäkning med partialkoefficienter.

Utredningen resulterade i en förteckning av de på det lågt trafikerade vägnätet förekommande broarna, som har bristande bärighet eller lastbegränsningar. I början fanns det på basen av den första undersökningsfasen 460 problembroar utan lastbegränsningar. Som resultat av denna utredning minskades detta antal med ca 300, d. v. s. med ca 65 %. Tar man med broarna med lastbegränsningar var minskningen 50 %. Broarna med lastbegränsning analyserades inte och då bärigheten inte bestämdes, blev det inte heller på basen av denna undersökning någon minskning i antalet.

Ifall man skall utforma driften och underhållet på det blir mest ekonomiska och tillförlitliga sättet, blir de mest brådskande åtgärderna för dessa så kallade nya problembroarna en översyn av bärighetsberäkningarna och en med bästa möjliga sakkunskap gjord generalinspektion. I denna inspektion bestämmer man behovet av intensifierad inspektion och pekar ut de kritiska konstruktionsdelarna, som man speciellt bör följa upp. Behovet av och innehållet i en intensifierad inspektion bör kontrolleras på samma sätt för broar med lastbegränsning.

Kostnadsberäkningarna visar att kostnaderna för drift och underhåll av samtliga broar på det lågt trafikerade vägnätet (ca 6,1 miljoner € / år) är betydligt större än kostnaderna för de fortsatta åtgärderna för avskaffandet av bärighetsbrister hos problembroarna (ca 2,1 miljoner € / år ifall bärighetsbristerna åtgärdas under en period på 20 år). När man jämför de omvägskostnader problembroarna förorsakar med de nödvändiga drifts- och underhållkostnaderna, kan man se att omvägskostnaderna redan under en kort tidsperiod (5-10 år) är större än kostnaderna för samtliga åtgärder. Denna teoretiska granskning av omvägskostnaderna påvisar därmed att avlägsnandet av broar med bärighetsproblem är ekonomiskt mycket lönsamt.

SUMMARY

The purpose of this study is, regarding present-day requirements, to list bridges with carrying capacity problems on low traffic volume roads and to suggest improvement measures as well as to estimate the implementation costs of such measures. In addition, cost estimations are prepared for the upkeep and maintenance measures of all the low traffic volume road bridges for different time periods, as well as for the removal of bridges with problematic/insufficient carrying capacities. A previous study, phase 1, was focused on bridge type, length, design load and condition. In addition to that old design load schemes and true traffic loads were reviewed (vehicle weight study, vehicles transporting forest harvesting machines or crusher aggregates and crane trucks).

The safe load of bridges on low traffic volume roads has been estimated by comparing the calculated dimensioning load with the design load and/or with the bridge's estimated safe load. As the estimated dimensioning load, the load determined in the 1990s Finnish Vehicle Decree, and the measured weights of crane trucks, and vehicles transporting forest harvesting machines or crusher aggregates, was used. Safe load is also assessed for the true traffic loads reported in the axle and vehicle weight study made by the Finnish National Road Administration in the 1990s. The safe load of steel tube and steel arch bridges are estimated based on the steel plate thickness and the thickness of the earth layer covering the vault.

In order to calculate bridge reliability, a probability method was developed, which takes into account the true traffic volume, the different axle and bogie weights, or the total weight of the vehicle. In addition, a load model was developed for bridges long enough to carry one or more articulated vehicles. This model takes into account not only the type and weight of the vehicles but also the real-life possibilities of queues and vehicles meeting on bridges. Load intensity with a return period of once in a hundred years and the load scheme critical for the bridge was estimated for different bridge lengths, and the probability of the bridge collapsing under this load was calculated. These probability figures were used to calculate the carrying capacity partial safety factors for low traffic volume bridges according to the load calculating instructions. By this, the calculation method turned into conventional safe load calculation with partial safety factors.

The result of this study was a list of low traffic volume road bridges with insufficient carrying capacities and weight restrictions. The starting point of the study was a list of around 460 problem bridges without weight restrictions to be clarified (phase 1 of the study). This study resulted in the number of problem bridges being reduced by approximately 300 bridges, i.e. about 65 per cent, or, considering the bridges with weight restrictions, about 50 per cent. The number of bridges with weight restrictions could not be reduced on the basis of this study. This because no analysis for bridges with weight restrictions were carried out.

For economic and safe bridge maintenance, the most urgent measures for the so called new problem bridges are the checking of the safe load, and general inspections. The general inspections should be carried out with the best possible expertise, and the inspector should determine the need for intensified monitoring, and which structural parts particularly should be monitored. The need for intensified monitoring for bridges with load restrictions should be similarly determined.

The cost estimations given in this study indicate that the upkeep and maintenance costs (about 6.1 million €/year) of bridges with the lowest traffic volumes are considerably higher than the costs (about 2.1 million €/year) of taking the appropriate improvement measures for problem bridges, that is the removal of all carrying capacity insufficiency during 20 years. Re-routing costs will, already in the short run (5 - 10 years), be higher than the costs incurred in taking steps to solve the carrying capacity problems. A theoretical estimation of re-routing costs indicates that the removal of bridge carrying capacity problems is a cost-effective investment.

ESIPUHE

Tämä tutkimus on tehty toisena vaiheena *Vähäliikenteisten teiden siltojen taloudellinen ja turvallinen ylläpito* -tutkimusprojektiin, joka on Tiehallinnon tutkimusohjelman Vähäliikenteisten teiden taloudellinen ylläpito alaprojekti 2.6. Koko tutkimusohjelman kesto on kolme vuotta, vuosina 2003 - 2005.

Tutkimusprojektissa Vähäliikenteisten teiden siltojen taloudellinen ja turvallinen ylläpito selvitetään vähäliikenteisten teiden kantavuudeltaan puutteelliset sillat ja tyypilliset ajoneuvokuormat, kehitetään menetelmiä siltojen tehokkaaseen varmuustarkasteluun, vahventamiseen ja ylläpitoon sekä analysoidaan sillastoa.

Tutkimusprojektin ohjausryhmään kuuluivat tekn.lis. Timo Tirkkonen (pj.) ja apulaisjohtaja Juhani Vähäaho sekä tieinsinöörit Mikko Inkala, Pasi Jääskeläinen ja Olli Pyykönen Tiehallinnosta.

Raportin ovat laatineet tekn.lis. Torsten Lunabba, diplomi-insinöörit Antti Rämetsä ja Antti Jaakkola sekä tekn.yo Eero Sihvonon Tieliikelaitoksen konsultoinnista.

Helsingissä maaliskuussa 2005

Tiehallinto
Siltatekniikka

Sisältö

1	JOHDANTO	11
2	SUUNNITTELUKUORMAN SELVITTÄMINEN	12
2.1	Yleistä	12
2.2	Kuormatietojen haku ERIKU-järjestelmästä	13
2.3	Kuormatietojen haku suunnitelmista	13
2.4	Putkisiltojen suunnittelukuorman määrittäminen ainevahvuuden ja peitepaksuuden perusteella	13
2.5	Yhteenveto suunnittelukuormista	15
2.5.1	Teräspalkkisillat	15
2.5.2	Muut sillat	16
3	KANTAVUUDEN MÄÄRITTÄMINEN LYHYILLE JÄNNEMITOILLE	16
3.1	Yleistä	16
3.2	Sillat, joiden on todettu kestävän nykyiset rasitukset	17
3.3	Siltojen kestävyys	17
3.4	Siltojen omat painot	18
3.5	Todellisten liikennekuormien aiheuttamat taivutusmomenttijakaumat	18
3.6	Todellisten liikennekuormien jakaantuminen sillan poikkisuunnassa	19
3.7	Siltojen osavarmuuskertoimet AA90-kuormalle	20
3.8	Vaadittavat osavarmuuskertoimet AA90-kuormalle	21
3.9	Kokonaisvarmuuskertoimet todellisille kuormille	26
4	KANTAVUUDEN MÄÄRITTÄMINEN JÄNNEMITOILLE 10 – 100 M	28
4.1	Kuormamallin kehittäminen pitkille silloille	28
4.2	Pitkien siltojen luotettavuuden arviointi kuormamallin ja kantavuuslaskentaohjeen mukaan	34
5	KANTAVUUSPUUTTEIDEN ARVIOIMINEN	38
5.1	Ongelmasiltojen rajaus	38
5.2	Lyhyet ongelmasillat tyypeittäin (jännemitta alle 10 m)	38
5.3	Pitkät ongelmasillat tyypeittäin (jännemitta 10 - 100 m)	39
6	VAHVENTAMISMENETELMÄT	43
6.1	Yleistä	43
6.2	Teräspalkkisillat	43
6.3	Betonipalkkisillat	43
7	SILTOJEN YLLÄPIDON SUUNNITTELU	44
7.1	Kantavuudeltaan puutteelliset sillat, jotka eivät ole painorajoitettuja tai tehostetussa tarkkailussa	44

7.1.1	Yleistä	44
7.1.2	Jatkotoimenpiteet	44
7.1.3	Kantavuuden tarkistus + erikoistarkastus + peruskorjaus (toimenpideryhmä 1)	45
7.1.4	Päällysrakenteen uusiminen + peruskorjaus (toimenpideryhmä 2)	45
7.1.5	Vahventaminen (toimenpideryhmä 3)	45
7.1.6	Loppuun käyttö ja uusiminen + erikoistarkastus + tehostettu tarkkailu (toimenpideryhmä 4)	46
7.1.7	Jatkotoimenpiteet siltakohtaisesti	46
7.2	Muut vähäliikenteiset sillat	47
7.2.1	Yleistä	47
7.2.2	Jatkotoimenpiteet	47
7.3	Kustannusten arviointi	48
7.3.1	Yleistä	48
7.3.2	Toimenpidekustannukset tässä tutkimuksessa määritetyille kantavuudeltaan puutteellisille silloille	49
7.3.3	Ylläpito- ja toimenpidekustannukset kaikille vähäliikenteisille silloille	53
8	YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET	57
9	VIITELUETTELO	59
	LIITE A.	60
	LIITE B.	67
	LIITE C	70
	LIITE D.	74
	LIITE E.	85

1 JOHDANTO

Suomen yleisillä teillä on runsaat 14 000 siltaa, joista hieman alle puolet sijaitsee vähäliikenteisillä teillä. Vähäliikenteisiksi luokitellaan kaikki yhdystiet sekä ne seututiet, joiden keskivuorokausiliikenne (KVL) on alle 200. Selvityksessä *Vähäliikenteisten teiden siltojen taloudellinen ja turvallinen ylläpito, vaihe 1* tutkittiin vähäliikenteisten siltojen tyyppiä, pituutta, suunnittelukuormaa ja kuntoa. Lisäksi selvitettiin vanhojen suunnittelukuormien kuormakäviöitä ja nykyiset todelliset liikennekuormat (akselimassatutkimus, metsäkone- ja murskainkuljetukset sekä ajoneuvonosturit). Tutkimuksessa kävi ilmi, että vähäliikenteisillä teillä on noin 500 siltaa, joiden suunnittelukuorma ei ole lainkaan tiedossa. Lisäksi on noin 460 painorajoittamatonta siltaa, joiden suunnittelukuorma on pienempi kuin A1. Aiemmin tehtyjen selvitysten ja käytännön kokemuksen perusteella on voitu todeta, että sillat, joiden suunnittelukuormaluokka on A1 tai parempi, kestävät nykyiset todelliset liikennekuormat vaurioitumatta. Kantavuudeltaan rajatapauksia ovat sillat, joiden korjaukset ja vahventamiset on suunniteltu vuoden 1975 moottoriajoneuvoasetuksen (MAA75) mukaiselle kuormakäviölle.

Painorajoitettuna vähäliikenteisillä teillä on 175 siltaa ja tehostetussa tarkkailussa noin 80 siltaa. Painorajoitetut sillat ovat kantavuudeltaan ongelmasiltoja, vaikka ne eivät useinkaan ole liikenteellisesti tärkeässä paikassa. Tehostetussa tarkkailussa olevat sillat eivät tässä tutkimuksessa kuulu kantavuudeltaan ongelmallisten siltojen joukkoon, koska niillä ei ole painorajoitusta, vaan niiden liikenneturvallisuus varmistetaan kriittisten rakennneosien systemaattisella seurannalla.

Kun sillan kantavuutta tarkastellaan kantavuuslaskentaohjeen /2/ mukaan, ei saada mitään tietoa todennäköisyydestä, millä sillan kantavuus on riittämätön todellisille kuormille. Kantavuuslaskentaohjeen mukaan sillalla pitää olla tietty osavarmuuskerroin ajoneuvoasetuksen mukaiselle AA90-kuormalle. Tutkittaessa vanhoja, alhaiselle suunnittelukuormalle mitoitettuja siltoja kantavuuslaskentaohjeen mukaisilla osavarmuuskertoimilla, ei siltoja saada kestämään vaadittuja kuormituksia. Tällöin pitää ryhtyä sillan vahventamiseen tai uusimiseen tai asettaa sillalle painorajoitus tai asettaa silta tehostettuun tarkkailuun.

Vanhojen siltojen taloudellista ja turvallista ylläpitoa varten on tarkoitus tässä tutkimuksessa kehittää laskentamenetelmä, jolla voidaan ottaa huomioon todelliset liikennekuormat ja -määrät sekä liikennemäärien vähäisyyden merkitys sillan todellista kestävyyttä parantavana tekijänä. Liikennemääristä saadaan tietoa liikenteen automaattisen mittauksen (LAM) ja Siltarekisterin avulla. Ajoneuvojen massat eivät ole vähäliikenteisillä teillä sen pienempiä kuin muillakaan teillä, mutta laskentamenetelmässä on otettava huomioon ajoneuvojen todelliset massajakaumat, joissa on mukana myös kevyet ajoneuvot. Jos tällaisella laskentamenetelmällä saadaan kantavuudeltaan puutteellisten siltojen määrää vähennettyä, sekä tienpitäjälle että tienkäyttäjälle saavutettavat hyödyt ovat suuret. Tarkistuslaskennankin jälkeen kantavuudeltaan puutteellisiksi todetuille silloille tulee määrittää jatkotoimenpiteet ja niiden kustannusennuste. Painorajoitettujen siltojen aiheuttamia haittoja arvioitaessa ja toimenpiteitä määritettäessä tulee ottaa huomioon myös kiertotiekustannukset.

2 SUUNNITTELUKUORMAN SELVITTÄMINEN

2.1 Yleistä

Vähäliikenteisillä teillä on noin 500 siltaa, joiden suunnittelukuormaluokkana Siltarekisterissä on 8 eli luokittelematon ja noin 60 siltaa, joiden suunnittelukuormaa ei ole lainkaan esitetty Siltarekisterissä. Näiden siltojen suunnittelukuormia selvitetään tässä.

Suurimmasta osasta selvitettäviä siltoja ei ole olemassa minkäänlaisia suunnitelmia tai piirustuksia eikä myöskään merkintää mahdollisesta tyyppi-piirustusnumerosta. Täten suunnittelukuormat on selvitettävä muilla tavoin. Kysymykseen tulee tässä yhteydessä lähinnä Tiehallinnon erikoiskuljetus-reittijärjestelmä (ERIKU), jonka kautta saadaan ainakin arvio sillan suunnittelukuormasta tai kantavuudesta. Joidenkin siltojen suunnittelukuormat on selvitetty suunnitelmista tai mahdollisen tyyppipiirustuksen perusteella.

Kantavuuden määrittäminen on Tiehallinnon käytännön mukaan määritetty silloille, joilla ei ole suunnittelukuormaa, seuraavasti:

- Jos sillasta ei ole piirustuksia, on betonisiltojen osalta sovellettu ns. käytännön koekuormitusta, eli jos sillalla tiedetään kulkeneen esim. raskaita puukuljetuksia eikä näkyviä vaurioita ole syntynyt, niin sillan on todettu kestävänsä nämä kuormat.
- Puu- ja teräspalkkisilloista on otettu mitat ja näitä on verrattu tyyppipiirustuksiin, lisäksi on otettu huomioon sillan kunto.
- Betonilaattasiltojen tyyppipiirustukset (jännemitat 3-6 m):
 - DA-sarja 1930-luvulla, suunnittelukuormana on yksi 9 tonnin auto + 400 kg/m² tai kaksi 9 tonnin autoa. Näiden siltojen on todettu täyttävän vaaditun kantavuustason.
 - BA-sarja 1940-luvulla, suunnittelukuormana on yksi 12 tonnin auto + 400 kg/m² tai kaksi 12 tonnin autoa. Nämä sillat ovat pula-ajan siltoja ja materiaaleja on käytetty säästeliäästi. Siltojen kestävyys on hyvin vaihtelevaa.
 - Laatoissa, jotka on tehty 1930-luvun lopun ja 1950-luvun alun välisenä aikana, on kantavuuden määrittämisessä käytetty BA-sarjaakin heikompia kestävyysarvoja.
- Vanhoja betonisiltoja suunniteltaessa on teräksen sallittuna lujuutena käytetty 1000 kp/cm², mutta nykyään voidaan sallia 1400 kp/cm². Tämä voidaan ottaa huomioon kestävyksiä arvioitaessa. Jos teräsluokka ei ole tiedossa, on käytetty näitä St 37:n arvoja.
- Betonin lujuudeksi on oletettu vähintään K30-taso. Useimmissa tapauksissa lujuus on huomattavasti korkeampi, jopa K90:n lujuuksia on mitattu.
- Vanhoja terässiltoja suunniteltaessa on teräksen sallittuna lujuutena käytetty 1300 kp/cm², mutta nykyään voidaan sallia 1600 kp/cm². Tämä voidaan ottaa huomioon kestävyksiä arvioitaessa. Jos teräsluokka ei ole tiedossa, on käytetty St 37:n arvoja.

Tiehallinnon kantavuuspolitiikkaan kuuluu olennaisena osana tehostettu tarkkailu, jonka avulla voidaan pitää painorajoittamattomina sellaiset sillat, joiden kantavuus on laskennallisesti riittämätön tai silta on huonossa kun-

nossa. Tehostettu tarkkailu tarkoittaa, että käydään 1 – 3 kertaa vuodessa tarkastamassa ennalta määrättyä kriittistä kohtaa sillasta. Jos siltaan ei synny vaurioita tai vauriot eivät kasva (esim. halkeama), voidaan tehostettu tarkkailu poistaa. Silta on kuitenkin pidettävä tehostetussa tarkkailussa ainakin 3 vuotta. Yleensä tehostettu tarkkailu voidaan poistaa, mutta joskus joudutaan sillalle asettamaan painorajoitus.

2.2 Kuormatietojen haku ERIKU-järjestelmästä

ERIKU-järjestelmässä olevan arvioinnin avulla selvitetään siltojen suunnittelukuorma tai kantavuusluokka seuraavasti:

- Jos ERIKU:ssa on sillan kantavuusluokkana AA90, se merkitään sillan kantavuudeksi myös tässä yhteydessä (joko AA90-taso tai pienennetyillä varmuuskertoimilla laskettu AA90-korotettu taso).
- Jos AA90-tietoa ei ERIKU:sta löydy, tutkitaan suunnittelukuormaa erikoiskuljetuskantavuustietojen kautta. Tämä tehdään sellaisten taulukoiden avulla, joiden mukaan tiedot on 90-luvulla viety ERIKU:un. Nämä taulukot on aikoinaan laadittu suunnittelukuormien perusteella.
- Jos ERIKU:un ei ole merkitty AA90-kantavuutta eikä erikoiskuljetuskantavuuksia, vertaillaan samankaltaisia siltoja keskenään.

Sillalle on yleisesti saatettu merkitä kantavuudeksi AA90-taso vain sillä perusteella, että sillalle ei ole asetettu painorajoitusta (katso luku 2.1).

2.3 Kuormatietojen haku suunnitelmista

Hieman yli 50 sillasta löytyy suunnitelmanumero. Näiden siltojen suunnittelukuorma saadaan tätä kautta.

2.4 Putkisiltojen suunnittelukuorman määrittäminen ainevahvuuden ja peitepaksuuden perusteella

Putkisiltojen vaadittava ainevahvuus on Tiehallinnon suunnitteluohjeessa *Aallotetut teräsputket /2/* peitesyvyyden ja halkaisijan mukaan taulukon 1 mukainen. Taulukossa 2 on esitetty taulukon 1 mukaisten teräsputkien jännitykset Lk1-kuormasta.

Taulukko 1. Aallotettujen teräsputkisiltojen vaadittavat ainevahvuudet ohjeen Aallotetut teräsputket /2/ mukaan suunnittelukuormalle Lk1.

Ainevahvuus [mm]	Peitesyvyys [m]		
	1,5	1,0	0,5
Halkaisija [m]			
2	2,5	2,5	2,5
4	3,5	3,5	3,5
6	6,0	6,0	6,0

Taulukko 2. Aallotettujen teräsputkisiltojen jännitykset peitesyvyyden ja halkaisijan mukaan suunnittelukuormasta Lk1.

Jännitykset [MPa]	Peitesyvyys [m]		
	1,5	1,0	0,5
Halkaisija [m]			
2	99,4	97,4	99,2
4	229,6	225,9	228,2
6	299,2	292,4	295,9

Tutkittaessa taulukon 2 jännityksiä, huomataan, että taulukon 1 mukainen ainevahvuus riittää Lk1-kuormalle halkaisijan ollessa alle 5 m. Kun putken halkaisija on yli 5 m, on suunnittelukuorma alennettava luokkaan Lk2. Tiehallinnon teräsputkiohjeen mitoitusarvot ovat tarkempien laskelmien mukaan taivutusmomentin osalta selvästi epävarmalla puolella peitesyvyyden ollessa 0,5 m. Esimerkiksi 5 m:n teräsputkisillalle saadaan elementtimenetelmällä laskettuna tarvittavaksi ainevahvuudeksi n. 10 mm. Näin ollen teräsputkisillan suunnittelukuormaksi voidaan ohjeessa /2/ vaadituilla teräspaksuuksilla esittää taulukon 3 mukaiset kuormat.

Taulukko 3. Ohjeen Aallotetut teräsputket mukaisille Lk1-teräsputkisilloille tarkempien laskelmien perusteella sallittava kuorma.

Suunnittelukuorma			
Halkaisija [m]	Peitesyvyys [m]		
	1,5	1,0	0,5
2	Lk1	Lk1	Lk1
4	Lk1	Lk1	Lk2
6	Lk2	Lk2	All

Mikäli teräsputkisillan tulee Lk1-kuorman lisäksi kestää Ek1-kuorma, on putken ainevahvuus kasvatettava ohjeen /2/ mukaan taulukon 4 mukaiseksi. Taulukossa 5 on esitetty taulukon 4 mukaisten teräsputkien jännitykset Ek1-kuormasta.

Taulukko 4. Aallotettujen teräsputkisiltojen vaadittavat ainevahvuudet ohjeen Aallotetut teräsputket /2/ mukaan suunnittelukuormalle Ek1.

Teräspaksuus [mm]	Peitesyvyys [m]		
	1,5	1,0	0,5
Halkaisija [m]			
2	2,5	2,5	2,5
4	4,5	4,5	4,5
6	7,0	7,0	7,0

Taulukko 5. Aallotettujen teräsputkisiltojen jännitykset peitesyvyyden ja halkaisijan mukaan suunnittelukuormasta Ek1.

Jännitykset [MPa]	Peitesyvyys [m]		
	1,5	1,0	0,5
Halkaisija [m]			
2	134,9	141,0	153,4
4	226,0	234,1	249,8
6	317,9	323,8	343,8

Samoista syistä kuin edellä, on suunnittelukuorma alennettava teräsputken halkaisijan tai leveyden kasvaessa yli 6 m tai peittösyvyyden ollessa 0,5 m.

Taulukko 6. Ohjeen Aallotetut teräsputket mukaisille Ek1-teräsputkisilloille tarkempien laskelmien perusteella sallittava kuorma.

Suunnittelukuorma	Peitesyvyys [m]		
	1,5	1,0	0,5
Halkaisija [m]			
2	Ek1	Ek1	Ek1
4	Ek1	Ek1	Ek2
6	Ek2	Ek2	Lk2

2.5 Yhteenveto suunnittelukuormista

2.5.1 Teräsputkisillat

Teräsputkisilloja, joiden suunnittelukuorma ei ollut tiedossa, oli yhteensä n. 160 kpl. Kun niille määritettiin suunnittelukuormat luvun 2.4 mukaan, todettiin vain kolmen sillan kantavuuden olevan pienempi kuin Lk2. Neljästätoista putkisillasta puuttui joko ainevahvuus- tai peitesyvyystieto, jolloin kantavuustietoa ei voitu määrittää.

2.5.2 Muut sillat

Kantavuustieto, suunnittelukuorma tai muu kantavuuteen liittyvä tieto saatiin selvitettyä noin 65 % silloista. Osa silloista oli tämän selvityksen Siltarekisteriajojen jälkeen jo uusittu ja jotkin sillat oli asetettu tehostettuun tarkkailuun. Muutamalle sillalle saatiin tietoa sillan lähivuosien uusimisajankohdasta.

Tiehallinnossa tehdään reitistöjä metsäkonekuljetuksille, jota varten siltojen kantavuuksia selvitetään. Niinpä kantavuuden selvitystyö jatkuu ja lähes kaikille reitistöllisesti merkittävillä silloille tullaan saamaan kantavuusarvio kevään 2005 aikana.

Kantavuudeltaan puutteellisiksi osoittautui n. 10 siltaa ja lisäksi selvittämättömistä silloista kantavuudeltaan puutteellisiksi arvioitiin n. 20 siltaa. Betonisiltojen osuus näistä silloista on n. 15 %, terässiltojen n. 60 % ja puusiltojen n. 25 %. Kun selvittämättömiä siltoja tarkemmin tutkitaan keväällä 2005, saattaa kantavuudeltaan puutteellisten siltojen määrä hieman lisääntyä, mutta määrä on joka tapauksessa melko pieni verrattuna koko ongelmasillaston laajuuteen, mukaan lukien painorajoitetut sillat. Tässä arvioidut ongelmasillat huomioidaan luvussa 7, kun lasketaan kustannuksia vähäliikenteiselle sillastolle.

3 KANTAVUUDEN MÄÄRITTÄMINEN LYHYILLE JÄNNEMITOILLE

3.1 Yleistä

Tässä luvussa tutkitaan lyhyiden siltojen (jännemitta 2 – 10 m) luotettavuutta eri varmuuskertoimilla. Siltojen luotettavuuksia arvioidaan laskennallisesti vain pääkannattajien taivutusmomentin suhteen. Sekundääri- ja alusrakenteita arvioidaan vain kokemuksen ja aiempien tutkimusten perusteella. Pääkannattajien leikkausvoimakapasiteettia ei ole katsottu mitoittavaksi. Tässä luvussa on lisäksi esitelty siltatyypit, joiden on kokemuksen perusteella todettu kestävän liikennekuormat moitteettomasti.

Tärkein laskennallinen kriteeri kantavuudeltaan puutteellisten siltojen löytämiseksi on sillan osavarmuuskertoimen AA90-kuormalle. AA90-kuormalle ei kuitenkaan käytetä kantavuuslaskentaohjeen /7/ mukaisia osavarmuuskertoimia, vaan vaadittavat osavarmuuskertoimet määritetään todellisten kuormien (akselimassatutkimukset, metsäkonekuljetukset) ja siltojen pitkän aikavälin myötö / murtotodennäköisyyksien avulla. Todellisesta liikenteestä kerätyn tiedon avulla määritetään vähäliikenteisille silloille kerran sadassa vuodessa esiintyvä mitoituskuorma ja tutkitaan, millä todennäköisyydellä silta menettää kantavuutensa tällaisen kuorman esiintyessä.

Eri kuormatyyppien (akselimassatutkimus, metsäkonekuljetukset, nosturi, murskain) vaikutusta sillan luotettavuuteen arvioidaan diplomityön *Vähäliikenteisten tiesiltojen kantavuuden tilastollinen tarkastelu* /4/ todennäköisyyslaskennan tulosten perusteella. Tässä yhteydessä ei esitellä todennäköisyyslaskennan teoriaa.

3.2 Sillat, joiden on todettu kestävän nykyiset rasitukset

Aiemmin tehtyjen selvitysten ja käytännön kokemuksen perusteella tietynlaisten siltatyyppejen on todettu kestävän hyvin todellisia liikennekuormia. Seuraavassa on listattu erikseen sillat, jotka kestävät ajoneuvoasetuksen tason ja sillat, jotka kestävät myös metsäkonekuljetukset.

Sillat, jotka kestävät nykyisen ajoneuvoasetuksen tason:

- Betonisillat, joiden suunnittelukuorma on vähintään AII ja silta on yksiaukkoinen.
- Puusillat, joiden suunnittelukuorma on vähintään AI.
- Terässillat, joiden suunnittelukuorma on AKII+EK2 tai tätä suurempi.
- Sillat, joiden kantavuustaso on AA90-taso eli ilman pienennettyjä varmuuskertoimia laskettu kantavuustaso (merkitty yleensä sillä perusteella, että siltaa ei ole painorajoitettu).

Sillat, jotka kestävät metsäkonekuljetukset:

- Puusillat, joihin on tehty liimapuukansi ja joiden suunnittelukuorma on vähintään AI. On huomiotava, että jos alusrakenne on tehty paalutuille, voi sen kantavuus tulla mitoittavaksi.
- Sillat, joiden suunnittelukuorma on AA90 ja sillasta löytyy piirustukset tai laskelmat, joista tämän voi varmentaa.
- Betonikantiset teräspalkkisillat, joiden suunnittelukuorma on AII ja silta on lyhyt sekä yksiaukkoinen. Tässä ryhmässä saattaa kuitenkin olla poikkeuksiakin.
- Betonisillat, joiden suunnittelukuorma on vähintään AI, kaiken pituiset sillat kestävät.
- Sillat, joiden kantavuustaso on AA90-korotettu taso eli pienennetyillä varmuuskertoimilla laskettu kantavuustaso.

Näitä siltoja otetaan kuitenkin vertailun vuoksi mukaan laskennallisiin kantavuustarkasteluihin.

3.3 Siltojen kestävyys

Siltojen kestävyys R määritetään oman painon ja suunnittelukuorman perusteella. Oma paino lasketaan siltojen rakennemittojen mukaan ja lisätään pinta-arakenteiden ja kaiteiden painot. Kestävyys on suoraan oman painon ja suunnittelukuorman aiheuttamien taivutusmomenttien summa. Tämä kestävyysarvo on ns. kestävyysarvo eli kestävyysarvo 5 prosentin fraktiiliarvo, kun kestävyys on oletettu normaalijakautuneeksi. Kestävyysarvo saadaan 5%:n fraktiiliarvon ja keskihajonnan avulla, jolloin keskiarvo $\mu_R = 1,49 \cdot R$, kun keskihajonaksi otetaan arvo $\sigma_R = 0,2 \cdot \mu_R$. Jakauman keskihajontaa ei ole järkevää analysoida tämän tarkemmin, koska siihen liittyy niin paljon epävarmuustekijöitä, kuten betoniterästen sijainti ja niiden kunto, materiaalien lujuudet, rakenteiden mitat ja vanhat laskentamenetelmät. Kestävyys lasketaan laattasilloilla metriä kohden ja palkkisilloilla yhtä palkkia kohden.

Taulukkoon 7 on laskettu eri suunnittelukuormien yhden kaistakuorman aiheuttamat taivutusmomentit jännemitoille 2, 4, 6, 8 ja 10 metriä. Kuormat on

esitelty julkaisussa *Vähäliikenteisten teiden siltojen taloudellinen ja turvallinen ylläpito, vaihe 1 /9/*. Mukana ovat myös kuormat MAA75 ja AA90, koska niille on suunniteltu joitakin teräs- ja puusiltoja. Lisäksi AA90-kuorman taivutusmomentteja tarvitaan laskettaessa siltojen osavarmuuskertoimia AA90-kuormalle. Taivutusmomenteissa on mukana sysäyslisä niiden kuormaluokkien osalta, joille suunniteltaessa sysäyslisää käytettiin (luokat 14 – 28).

Taulukko 7. Suunnittelukuormien aiheuttamat taivutusmomentit jänneväleittäin [kNm].

Kuorma- luokka	Jänneväli [m]				
	2	4	6	8	10
11 = 6T	20	42	70	108	157
12 = 9T	40	62	100	150	214
13 = 12T	60	82	130	192	271
14 = AIII	60	128	204	288	380
15 = AII	93	204	333	480	645
16 = AI	110	244	402	584	790
27 = MAA75	69	158	270	436	612
28 = AA90	69	187	349	511	694

Taulukon 7 taivutusmomentit pitää kertoa kuormanjakokertoimella k , joka riippuu sillan tyypistä ja geometriasta. Seuraavassa käsitellään erikseen palkkisiltoja ja laattasiltoja. Kertoimen k määrittämisessä on huomioitu laskentaotaksumia, joita käytettiin suunnittelukuorman voimassaoloaikana.

Palkkisilta: Suunnittelukuormilla 11-13 määräytyy kerroin k vipuvarsisäännöllä ja muilla kuormilla momentti jaetaan palkkien kesken kehittyneemmällä menetelmällä (katso luku 3.6). Kerroin k on tällöin luvussa 3.6 lasketun tasaisen jakauman suurin (määrävin) arvo.

Laattasilta: Jaetaan taivutusmomentti metriä kohti. Kerroin k riippuu kuorman jakaantumisleveydestä, joka lasketaan vanhojen betoninormien /5/ kaavoilla.

3.4 Siltojen omat painot

Oma paino lasketaan suoraan rakennemittojen mukaan ja lisätään pintarakenteiden paino. Betonilaattasilloissa huomioidaan myös mahdollinen sora-täyte. Oman painon keskihajonnaksi otetaan sellainen arvo, että oman painon 95 prosentin fraktiiliarvo vastaa osavarmuuskerrointa 1,2.

Oma paino lasketaan palkkisilloilla yhtä palkkia kohden ja laattasilloilla metrin kaistaleelle.

3.5 Todellisten liikennekuormien aiheuttamat taivutusmomenttijakaumat

Liikennekuormina käytetään akselimassatutkimuksesta /1/ saatavia akseli- ja telipainoja. Lisäksi tutkitaan metsäkonekuljetuksia, nostureita ja murskainkul-

jetuksia. Eri kuormat on esitetty julkaisussa *Vähäliikenteisten teiden siltojen taloudellinen ja turvallinen ylläpito, vaihe 1 /9/*.

Kaikista kuormituksista on laskettu taivutusmomenttien keskiarvot μ_M ja keskihajonnat σ_M taulukkoon 8 jännemitoille 2, 4, 6, 8 ja 10 metriä. Akselimassatutkimuksen osalta on ilmoitettu vain määräävin arvo, jonka on voinut aiheuttaa yksi akseli, 2-akselinen teli tai 3-akselinen teli.

Taulukko 8. Todellisten kuormien aiheuttamien taivutusmomenttien keskiarvot ja keskihajonnat [kNm].

Ajoneuvo	Jänneväli [m]									
	2		4		6		8		10	
	μ_M	σ_M	μ_M	σ_M	μ_M	σ_M	μ_M	σ_M	μ_M	σ_M
akselimassa-										
tutkimus	71	16	193	31	355	46	510	61	666	75
metsäkone	82	8	216	22	360	34	500	47	670	64
nosturi	97	6	269	17	457	28	761	47	1097	68
murskain	104	11	350	39	653	72	943	104	1235	136

3.6 Todellisten liikennekuormien jakaantuminen sillan poikisuunnassa

Akselikuormat jakaantuvat sillassa palkkien kesken tai laattasilloissa tietyllä jakaantumislevyydelle riippuen kuorman ajolinjoista. Jakaantumista on selvitetty lähteessä /4/ erikseen teräs-, puu- ja betonipalkkisilloille sekä betonilaattasilloille eri jännemitoilla. Kuorma on jaettu laskentamalliin renkaiden levyiselle alueelle (2x600 mm). Lisäksi laattasilloissa kuorman on oletettu jakaantuvan 45 asteen kulmassa myös laatan päällä olevassa sorakerroksesta. Ajoneuvo voi ajaa sillan reunassa, keskellä tai jossain tällä välillä määräävimmän tapauksen saamiseksi. Taulukoissa 9 – 13 on esitetty eri siltatyyppien k-jakaumat. Kerroin k on yhdelle palkille tuleva osuus yhden kais-tan kokonaiskuormasta. Teräspalkkisilloista ei ole erikseen tarkasteltu betonikantaisia siltoja liittovaikutuksen epämääräisyyden vuoksi. Varmuuskertoimia laskettaessa ei tarvita k-jakaumaa, vain tämän määräävin arvo eli arvo k2. Jakaumia on diplomityössä käytetty todennäköisyyslaskentamallissa ja tässä niitä tarvitaan määritettäessä kerran sadassa vuodessa esiintyvää mitoituskaukua.

Taulukko 9. Betonipalkkisiltojen k-jakaumat palkkiväleillä 2,0 ja 2,4 metriä.

Palkkiväli 2.0 m			Palkkiväli 2.4 m		
Jm	k1	k2	Jm	k1	k2
4	0,46	0,55	4	0,55	0,64
6	0,41	0,54	6	0,54	0,56
8	0,37	0,50	8	0,46	0,56
10	0,36	0,48	10	0,41	0,52

Taulukko 10. Teräspalkkisiltojen k-jakaumat palkkiväleillä 1,2 ja 1,6 metriä.

Palkkiväli 1.2 m			Palkkiväli 1.6 m		
Jm	k1	k2	Jm	1	2
4	0,33	0,35	4	0,47	0,53
6	0,32	0,34	6	0,43	0,45
8	0,29	0,35	8	0,38	0,44
10	0,26	0,35	10	0,35	0,44

Taulukko 11. Puupalkkisiltojen k-jakaumat palkkiväleillä 0,58/0,73 metriä. (Palkkiväli riippuu jännemitasta).

Palkkiväli 0.58/0.73 m			
Jm	k1	k2	palkkiväli
2	0,22	0,29	0,58
4	0,18	0,24	0,58
6	0,21	0,24	0,73
8	0,20	0,23	0,73

Taulukko 12. Laattasiltojen k-jakaumat eri hyötyleveyksillä, kun laatan paksuus on 200 mm ja sorakerroksen paksuus on 200 mm. Laattasillan k-kerroin on 1/jakaantumisleveys.

Laatta+sorakerros = 200+200 mm					
HL = 5 m			HL = 6 m		
Jm	k1	k2	Jm	k1	k2
2	0,27	0,30	2	0,26	0,30
4	0,23	0,28	4	0,21	0,27
6	0,22	0,25	6	0,19	0,25
8	0,23	0,25	8	0,19	0,23
10	0,22	0,24	10	0,18	0,21

Taulukko 13. Laattasiltojen k-jakaumat eri hyötyleveyksillä, kun laatan paksuus on 400 mm ja sorakerroksen paksuus on 400 mm.

Laatta+sorakerros = 400+400 mm					
HL = 5 m			HL = 6 m		
Jm	k1	k2	Jm	k1	k2
2	0,24	0,28	2	0,24	0,28
4	0,23	0,25	4	0,20	0,24
6	0,22	0,24	6	0,19	0,23
8	0,21	0,23	8	0,18	0,21
10	0,21	0,23	10	0,17	0,20

3.7 Siltojen osavarmuuskertoimet AA90-kuormalle

Siltojen osavarmuuskertoimet AA90-kuormalle on taulukoitu liitteessä B. Osavarmuuskertoimet on laskettu kestävyys 5%:n fraktiiliarvoilla ja oman painon 95 %:n fraktiiliarvoilla, mutta AA90-kuorma on keskiarvo, koska AA90-kuorma on deterministinen. Eli yksinkertaistettuna sillan kestävyys ja oma paino vastaavat normaaleja mitoitussarvoja (jaettu tai kerrottu osavar-

muusluvulla) ja sillan osavarmuuskerron AA90-kuormalle on kestävyys ja oman painon varmuuksien jälkeen jäljelle jäävä osavarmuuskerron AA90-kuormalle. Jos tehtäisiin normaalia kantavuuslaskentaa osavarmuuskertoimilla, tulisi tämän jäljelle jäävän osavarmuuskertoimen olla kantavuuslaskentaohjeen /7/ mukainen 1,3 tai 1,45, jotta silta kestäisi rasitukset. Tässä tutkimuksessa vaadittavat kertoimet määritetään todellisesta liikenteestä ja näin ollen vähäliikenteisillä teillä voidaan sallia pienempiä osavarmuuskertoimia.

Laskelmissa on oletettu, että sillalla on vain yksi ajoneuvo kerrallaan (ei kah- ta rinnakkain). Osavarmuuskerronta laskettaessa on kuorman jakaantumis- kertoimena käytetty luvussa 3.6 esitelyjen jakaumien määrääväämpää arvoa k_2 .

Betonipalkkisiltojen kohdalla on huomioitu, että niiden kestävyudet ovat 10 prosenttia suurempia kuin suunnittelukuorman perusteella lasketut. Tämä on voitu todeta betonipalkkisiltojen koekuormituksista.

Päätelmät

Osavarmuuskertoimista nähdään, että pienimpien suunnittelukuormien silto- jen osavarmuuskerron AA90-kuormalle on todella alhainen, useilla silloilla pienempi kuin yksi. Kantavuuslaskentaohjeen mukaisiin kertoimiin ($\gamma = 1,3$ tai 1,45) ei päästä kuin suurimmilla suunnittelukuormilla eli kuormaluokilla AI ja AII. Kaikilla siltatyypeillä eivät kuitenkaan edes kuormaluokalle AII suunnitellut sillat täytä kantavuuslaskentaohjeen mukaista kantavuutta. Tämän vuoksi onkin varsin järkevää etsiä vaadittavat siltojen osavarmuuskertoimet AA90-kuormalle todellisen liikennekuorman avulla.

Lyhimpien siltojen (2-3 m) varmuus AA90-kuormalle on selvästi suurempi kuin pidempien siltojen. Tehokkaan kuorman jakaantumisen vuoksi leveillä ja/tai paksuilla betonilaatoilla on parempi varmuustaso verrattuna muihin siltatyyppeihin. Myös betonipalkkisilloilla osavarmuuskerron AA90-kuormalle on hieman suurempi kuin teräs- ja puupalkkisilloilla. Puupalkkisillat eivät täy- tä kantavuuslaskentaohjeen vaatimuksia edes suunnittelukuormaluokassa AI, vaikka niiden on käytännössä todettu kestävän todellisia kuormia.

3.8 Vaadittavat osavarmuuskertoimet AA90-kuormalle

Jotta sillalle, jonka osavarmuuskerron AA90-kuormalle on tiedossa, saatai- siin jonkinlainen arvio pitkän aikavälin myötö- ja murtotodennäköisyyksistä, verrataan osavarmuuskertoimia rakenteen myötö/murtotodennäköisyyteen sellaiselle akselimassatutkimuksen kuormalle, joka esiintyy kerran sadassa vuodessa.

Jotta voidaan määrittää kerran sadassa vuodessa esiintyvä mitoituskuorma, tarvitaan tietoa raskaan liikenteen ajomääristä. Raskaan liikenteen ajomää- riä vähäliikenteisillä silloilla on tutkittu lähteessä /4/ akselimassatutkimuksen ja Siltarekisterin SQL-kyselyiden avulla. Taulukossa 14 on esitetty sillan kan- tavuuden kannalta määräävimpien raskaiden ajoneuvojen akselimassat ja ajomäärät akseleittain. Yhden akselin kohdalla ensimmäinen luku on yksiak- selisen ajoneuvon akselimassa ja suluissa on telin yhden alhaalla olevan akselin massa.

Taulukko 14. Akselien / telien massat ja niiden kautta lasketut merkitsevien kuljetusten määrät.

Akselien lukumäärä	1	2	3
Keskiarvomassa [tonnia]	7 (10,2)	19	24
Merkitsevien ajomäärä [kpl/vrk]	30,9 (17,6)	13,2	12,3
Merkitsevien ajomäärä [kpl/v]	11279 (6424)	4818	4490

Metsäkonekuljetusten ajomääränä käytetään 200 kpl/vuosi.

Näiden ajomäärien avulla määritetään kerran sadassa vuodessa esiintyvän kuormituksen aiheuttama taivutusmomentti kullekin siltapituudelle. Tämän jälkeen lasketaan todennäköisyys, että tietyn osavarmuuskertoimen AA90-kuormalle omaava silta menettää kantavuutensa tälle kerran sadassa vuodessa esiintyvälle mitoituskuormalle.

Tulokset

Laskentaa tehtiin kaikille siltatyypeille ja taulukoissa 15 – 17 on esimerkkinä ohuen betonilaattasilan laskennasta saadut tulokset. Taulukossa 15 on esitetty eri osavarmuuskertoimisten (AA90-kuormalle) ohuiden laattasiltojen myötö- ja murtotodennäköisyydet kerran sadassa vuodessa esiintyvälle akselimassatutkimuksen kuormitukselle (todelliselle kuormalle) jännevälin mukaan. Taulukossa 16 on vastaavat arvot ilman todellisen kuorman sysäyslisää. Lisäksi taulukossa 17 on eri osavarmuuskertoimisten (AA90-kuormalle) siltojen myötö- ja murtotodennäköisyydet kerran sadassa vuodessa esiintyvälle metsäkonekuljetuksen kuormitukselle. Muiden kuin puusiltojen murtokestävyytenä on käytetty arvoa $1,5 \cdot \text{myötökestävyys}$. Puusilloilla ei voida hyödyntää myötön ja murren välistä eroa rakenteen haurauden vuoksi.

Tuloksista nähdään, että pienten suunnittelukuormien silloilla myötötodennäköisyydet ovat varsin suuria. Tästä voidaan päätellä, että vuoden aikana käydään useasti myötörajalla. Tästä seuraa pieniä muodonmuutoksia, mutta varsinkin betoni- ja terässilloilla murtoon asti on vielä ylimääristä varmuutta.

Taulukoista 15 – 17 nähdään, että lyhyiden (2 -3 m) siltojen myötötodennäköisyydet ovat huomattavasti suurempia kuin pidempien siltojen. Tämä johtuu siitä, että AA90-kuorman suurin akselipaino on pienempi kuin akselimasatutkimuksen yhden akselin paino ja yksi akseli on määräävä aivan lyhimillä jännemitoilla. Kun lyhyen sillan osavarmuus AA90-kuormalle on 1,3, ovat sen myötö- ja murtokestävyydet melko tarkkaan samoja kuin pidemmän sillan, jonka osavarmuuskertoimen AA90-kuormalle on 1. Tämän perusteella pitää lyhyille silloille vaatia ainakin osavarmuuskertoimen 1,3.

Verrattaessa akselimassatutkimuksen aiheuttamia myötötodennäköisyyksiä metsäkonekuljetuksen aiheuttamiin myötötodennäköisyyksiin, huomataan metsäkonekuljetusten olevan määräävämpi vain 4 m pituisilla silloilla. Jotta kaikilla siltapituuksilla olisi samanlaiset myötötodennäköisyydet, on 4 m pituisille silloille vaadittava AA90-kuorman osavarmuuskertoimeksi 1,1.

Kun tutkitaan lyhyttä (2 – 3 m) siltaa, jonka osavarmuus AA90-kuormalle on 1, huomataan murtotodennäköisyyden olevan noin kuudesosa myötötodennäköisyydestä. Jos sysäyslisää ei olekaan (taulukko 16), on myötötodennäköisyys vain noin kolmasosa alkuperäisestä ja murtotodennäköisyys vain noin kymmenesosa sysäyksettömästä myötötodennäköisyydestä. Pidemmillä silloilla (3 – 10 m) ja lyhyillä silloilla, joiden osavarmuuskerroin $\gamma \geq 1,3$, on murtotodennäköisyys yleisesti noin kymmenesosa myötötodennäköisyydestä. Kun sysäyslisää ei ole, on myötötodennäköisyys vain noin kymmenesosa sysäyksellisestä myötötodennäköisyydestä ja murtotodennäköisyys on edelleen kymmenesosa sysäyksettömästä myötötodennäköisyydestä.

Murron ja myödon sekä sysäyslisän vaikutukset on hyvä ottaa huomioon varsinkin loppuunkäyttöä ajatellen (betoni- ja terässillat). Tarkastellaan siltaa, jonka osavarmuus AA90-kuormalle on esimerkiksi yksi. Tällöin todennäköisyys myötäämiselle on melko suuri. Jos sysäyslisää ei todellisuudessa olekaan, niin todennäköisyys, että rakenne murtuu, on vain sadasosa laskennallisesta myötötodennäköisyydestä. Sillalla on siis merkittävästi ylimääräistä kantavuusreserviä.

Taulukko 15. Myötö/murtotodennäköisyydet akselimassatutkimuksen kuormista eri osavarmuuskertoimen AA90-kuormalle omaaville silloille sadan vuoden aikajaksolle.

Kokonaisvarmuuskerroin AA90- kuormalle	Jänneväli			
	2		4	
	pf,myötö	pf,murto	pf,myötö	pf,murto
0.9	0,913	0,225	0,386	0,032
1	0,786	0,128	0,221	0,015
1.1	0,596	0,065	0,129	0,008
1.3	0,285	0,021	0,041	0,002
1.6	0,079	0,005	0,009	0,001
2	0,018	0,0011	0,002	0,0002
	Jänneväli			
	6		8	
	pf,myötö	pf,murto	pf,myötö	pf,murto
0.9	0,317	0,024	0,247	0,017
1	0,178	0,011	0,132	0,008
1.1	0,098	0,006	0,071	0,004
1.3	0,032	0,002	0,022	0,001
1.6	0,007	0,0005	0,005	0,0004
2	0,002	0,0001	0,001	0,0001

Taulukko 16. Myötö/murtotodennäköisyydet akselimassatutkimuksen kuormista eri osavarmuuskertoimen AA90-kuormalle omaaville silloille sadan vuoden aikajaksolle, kun sysäyslisä ei ole mukana.

Kokonaisvarmuuskerroin AA90- kuormalle	Jänneväli			
	2		4	
	pf,myötö	pf,murto	pf,myötö	pf,murto
0.9	0,427	0,225	0,093	0,005
1	0,249	0,017	0,045	0,003
1.1	0,138	0,008	0,024	0,001
1.3	0,045	0,003	0,007	0,0005
1.6	0,010	0,001	0,002	0,0001
2	0,002	0,0002	0,0004	0,0001
	Jänneväli			
	6		8	
	pf,myötö	pf,murto	pf,myötö	pf,murto
0.9	0,079	0,005	0,074	0,004
1	0,037	0,002	0,036	0,002
1.1	0,019	0,001	0,018	0,001
1.3	0,006	0,0004	0,006	0,0004
1.6	0,001	0,0001	0,001	0,0001
2	0,0004	0,00004	0,0003	0,00004

Taulukko 17. Myötö/murtotodennäköisyydet metsäkonekuljetusten kuormista eri osavarmuuskertoimen AA90-kuormalle omaaville silloille sadan vuoden aikajaksolle.

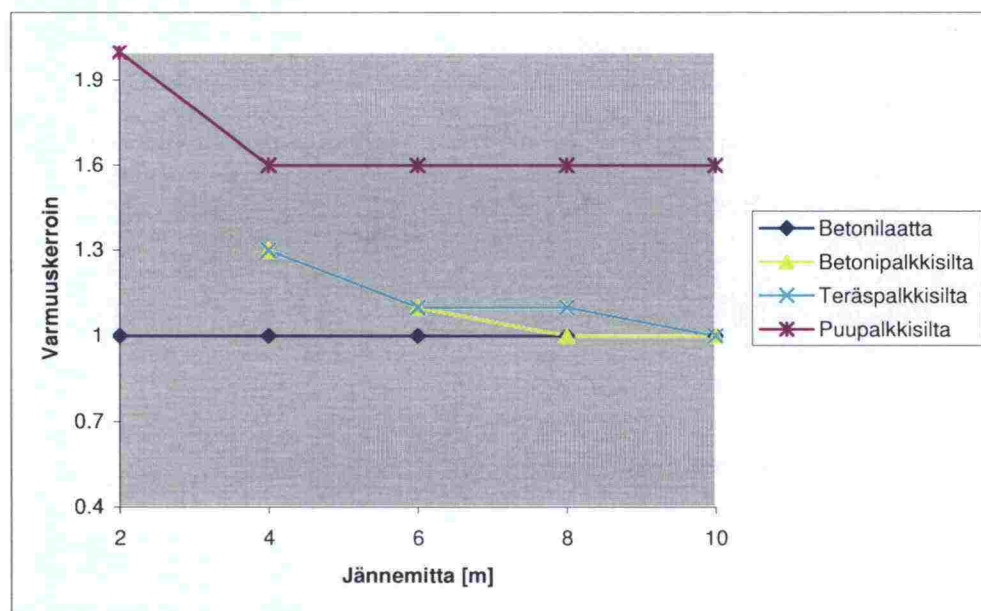
Kokonaisvarmuuskerroin AA90- kuormalle	Jänneväli			
	2		4	
	pf,myötö	pf,murto	pf,myötö	pf,murto
0.9	0,676	0,087	0,547	0,059
1	0,459	0,042	0,349	0,027
1.1	0,284	0,020	0,217	0,015
1.3	0,105	0,006	0,074	0,004
1.6	0,025	0,001	0,018	0,001
2	0,005	0,0004	0,004	0,0003
	Jänneväli			
	6		8	
	pf,myötö	pf,murto	pf,myötö	pf,murto
0.9	0,283	0,021	0,207	0,014
1	0,152	0,009	0,108	0,006
1.1	0,083	0,005	0,057	0,003
1.3	0,026	0,002	0,018	0,001
1.6	0,006	0,0004	0,004	0,0003
2	0,001	0,0001	0,001	0,0001

Taulukossa 18 on esitetty lyhyiden vähäliikenteisten siltojen vaadittavat osavarmuuskertoimet AA90-kuormalle. Vaadittavan osavarmuusluvun omaavan sillan murtotodennäköisyys kerran sadassa vuodessa esiintyvälle todelliselle liikennekuormitukselle on n. 0,01. Tätä todennäköisyyttä ei pidä käsittää absoluuttisena arvona, vaan vain suuntaa antavana tietona. Lisäksi tässä esitetty osavarmuuskertoimet eivät ole yleispäteviä, vaan pätevät vain tämän tutkimuksen laskentatavalle ja vähäliikenteisten siltojen liikennemäärille. Kuvassa 1 on esitetty vaaditut osavarmuuskertoimet jännevälin funktiona.

Puusiltojen suuret vaadittavat kertoimet johtuvat siitä, että hauraalla materiaalilla ei mitään myödyn ja murren välistä suhdetta voida käyttää hyväksi.

Taulukko 18. Lyhyiden siltojen vaadittavat osavarmuuskertoimet AA90-kuormalle siltatyypeittäin tämän tutkimuksen vähäliikenteisille silloille.

Siltatyyppi	Jännemitta				
	2	4	6	8	10
Betonilaatta	1	1	1	1	1
Betonipalkkisilta	-	1,3	1,1	1	1
Teräspalkkisilta	-	1,3	1,1	1,1	1
Puupalkkisilta	2	1,6	1,6	1,6	1,6



Kuva 1. Vaadittavien osavarmuuskertoimien kuvaajat siltatyypeittäin jännevälin funktiona tämän tutkimuksen vähäliikenteisille silloille.

Tiehallinnon tekemissä koekuormituksissa /8/ on tutkittu sysäyslisää ja todettu aivan lyhyillä silloilla sysäyslisän olevan varsin pieni, jopa alle yksi. Tämä on voitu tässä tutkimuksessa huomioida vain lyhyissä betonilaattasilloissa, joissa on paksu sorakerros. Niille on käytetty sysäyskerrointa 1,1. Yleisesti sysäyskerrointen pienentäminen vähäliikenteisillä silloilla on kyseenalaista, koska tiessä saattaa olla pahoja päällystevaurioita, joista saattaa aiheutua huomattavia sysäyslisiä. Jos sillalle tullessa tie on painunut, saattaa ajoneuvo ikään kuin hypätä sillalle, jolloin sysäyslisä on huomattava. Kanta-

vuuslaskentaohjeen mukainen sysäyskerroin on kuitenkin varsin suuri (lyhyillä silloilla n. 1,4), jolloin tästä tulee hieman ylimääräistä varmuutta ja pienet vaadittavat osavarmuuskertoimet AA90-kuormalle ovat perusteltuja. Lisäksi lyhyillä silloilla jännitykset eivät ehdi täysin kehittyä, koska kuorma ylittää sillan niin nopeasti. Moni lyhyt betonilaattasilta toimiikin ykköstilassa (betoni ottaa vedon) eli halkeamia ei ole syntynyt.

Vaadittavia osavarmuuskertoimia tutkittaessa on lyhyiden betonilaattasiltojen murtotodennäköisyyksiä laskettaessa huomioitu myös murtoviivateoria olettamalla liikennekuorman jakaantuvan poikkisuunnassa koko sillan leveydelle. Tämä oletamus on turvallinen, koska laattasiltojen koekuormituksessa on murtokuvion todettu olevan saman kaltainen kuin neljältä sivulta vapaasti tuetulla laattalla. Tämä johtuu vanhojen laattasiltojen varsin jäykästä reunapalkista, joka toimii ikään kuin viivamaisena, hieman joustavana tukena.

Koekuormituksissa on erään laattasilan murtokestävyys ollut jopa 2,5-kertainen verrattuna suunnittelukuorman mukaiseen kestävyYTEEN. Tämän vuoksi on syytä tutkia eri tyyppisiltojen rakennekuvien avulla laskettujen kestävyyksien vastaavuutta suunnittelukuormien perusteella laskettuihin kestävyYksiin. Vertailulaskelma on tehtävä samanlaisella laskentajstEemillä kuin lähdetEässä suunnittelukuormista, jotta tulokset olisivat vertailukelpoisia (eli kestävyys on normaalijakautunut keskihajontana $0,2 \cdot \text{keskiarvo}$). Vertailulaskekmista voidaan tehdä seuraavanlaiset päätelmät:

- Betonilaattasiltojen DA-tyyppisarjan (suunnittelukuormaluokka 12) kestävyYdet ovat huomattavasti suurempia kuin suunnittelukuorman perusteella lasketut ja niiden voidaan todeta kestävän nykyiset kuormat (kuten todettiin käytännön kokemuksen perusteella luvussa 1,1).
- Betonilaattasiltojen BA-tyyppisarjan (suunnittelukuormaluokka 13) kestävyYdet ovat jopa heikompia kuin suunnittelukuorman perusteella lasketut. Tämä johtuu siitä, että näitä siltoja suunniteltaessa on ilmeisesti huomioitu myös kuorman pituussuuntainen jakaantuminen.
- Palkkisiltojen kestävyYdet noudattavat varsin hyvin suunnittelukuormia. Betonipalkkisiltojen todelliset kestävyYdet voivat olla hieman suurempia suunnittelukuormaan nähden, kuten on todettu myös koekuormituksissa.

3.9 Kokonaisvarmuuskertoimet todellisille kuormille

Siltojen kokonaisvarmuuskertoimet todellisille kuormille voidaan laskea suoraan kestävyYksien ja kuormien fraktiiliarvoilla (mitoitusarvoilla). Omalle painolle ja liikennekuormalle käytetään 95 prosentin fraktiiliarvoa ja kestävyYdelle 5 prosentin fraktiiliarvoa. Todellisilla kuormilla tarkoitetaan akselimasatutkimusta, metsäkonekuljetuksia, nostureita ja murskainkuljetuksia.

Siltojen kokonaisvarmuudet on taulukoitu liitteeseen D siltatyypeittäin jännevälin mukaan.

Kokonaisvarmuusmenettelyllä saadut tulokset ovat varsin samansuuntaisia kuin luvuissa 3.7 ja 3.8 saadut tulokset. Luvun 3.8 todennäköisyystarkastelulla voidaan kuitenkin saavuttaa jonkinlaista etua kokonaisvarmuuskerroinmenettelyyn nähden, koska todennäköisyystarkastelun avulla tietyt siltatyytit

on voitu katsoa luotettavaksi nykykuormille, vaikka sillan kokonaisvarmuus todellisille kuormille olisi hieman alle yksi.

Kokonaisvarmuusmenettelyllä voidaan verrata eri kuormatyyppien vaikutusta. Kokonaisvarmuuskertoimet akselimassatutkimuksen kuormille ja metsäkonekuljetuksille ovat hyvin lähellä toisiaan; varmuus metsäkonekuljetuksille on jopa hieman suurempi, mutta jännevälillä 4 metriä on metsäkonekuljetus selvästi määräävämpi, kuten huomattiin jo luvussa 3.8.

Nostureita ja murskaimia sillat kestävät hyvin vaihtelevasti ja niiden päästämistä vähäliikenteiselle sillalle onkin harkittava tapauskohtaisesti.

Todennäköisyyslaskenta

Diplomityössä *Vähäliikenteisten tiesiltojen kantavuuden tilastollinen tarkastelu* /4/ on laskettu siltojen myötötodennäköisyyksiä ja luotettavuusindeksejä (β -indeksi) kerran tapahtuvista todellisista kuormituksista. Todennäköisyyslaskennalla saadut luotettavuusindeksit β ja myötötodennäköisyydet p_i tukevat melko hyvin kokonaisvarmuusmenettelyllä saatuja tuloksia. β -arvot ovat huomattavasti alhaisempia kuin standardeissa vaaditut arvot, jopa suunnitelukuormalle A1 suunnitelluilla silloilla, joiden on kuitenkin kokemuksesta todettu kestävän hyvin todellisia kuormia.

Ero todennäköisyyslaskennan ja todellisten kuormien kokonaisvarmuuslaskennan tulosten välillä on lähinnä metsäkonekuljetusten ja akselimassatutkimuksen vaikutuksissa. Kun kokonaisvarmuustarkastelussa sillat kestävät jopa paremmin metsäkonekuljetuksia, niin todennäköisyyslaskennassa siltojen myötötodennäköisyydet metsäkonekuljetuksille ovat suurempia kuin akselimassatutkimuksen kuormille. Erot ovat kuitenkin pieniä ja tasoittuvat jännevälin kasvaessa.

4 KANTAVUUDEN MÄÄRITTÄMINEN JÄNNEMITOILLE 10 – 100 M

4.1 Kuormamallin kehittäminen pitkille silloille

Määräävä ajoneuvo

Tarkasteltaessa sillan luotettavuutta, määräävä ajoneuvo on raskaasti kuormattu kuorma-auto, joka voi olla tyyppiä kuorma-auto ilman perävaunua (KAIP), kuorma-auto puoliperävaunulla (KAPP) tai kuorma-auto varsinaisella perävaunulla (KAVP). Tämä määräävä ajoneuvo sijoitetaan siltaan siihen kohtaan, missä ajoneuvosta syntyvät rasitukset nousevat suurimmaksi mahdolliseksi. Kevyemmillä ajoneuvoilla ei katsota olevan tässä pisteessä vaikutusta sillan varmuustasoon. Tämä oletamus pitää hyvin paikkansa silloissa, joiden jännemitta on niin lyhyt, että tarkasteltavaan aukkoon tai taivutusmomentin vaikutusviivan huippukohtaan kohtuudella mahtuu vain yksi ajoneuvo. Tähän jännevälialueeseen voidaan lukea kaikki aina 100 m:n jännemittaan ulottuvat sillat sillä perusteella, että raskaimman ajoneuvon pituus on n. 17 m ja todennäköinen lyhin ajoneuvoväli n. 15 m.

Raskaasti kuormattujen kuorma-autojen akselipainojen keskinäiset suhteet ja akselivälit vaihtelevat. Koska tässä yhteydessä määräävimmat ajoneuvot kuljettavat vain raskaita kuljetuksia, valitaan akselijakauma tähän tarkoitukseen soveltuvien ajoneuvojen mukaan. Tutkimuksen *Vähäliikenteisten teiden siltojen taloudellinen ja turvallinen ylläpito, vaihe 1 /9/* kuvissa 26 a-c on esitetty määräävien ajoneuvojen kuormakaavioita. Näiden akselijakaumien voidaan katsoa olevan ajoneuvon pituuden ja akselikuormien keskinäisten suhteiden puolesta varmalla puolella ainakin silloin, kun ajoneuvon paino on lähellä sallittuja ylärajoja. Kevyemmissä ajoneuvoissa akselijakauma saattaa olla epäedullisempi, mutta sillä on vähäinen merkitys tilastollista varmuutta tarkasteltaessa.

Kuormien massajakaumat ovat selkeät perävaunullisten kuorma-autojen (KAPP ja KAVP) osalta. Kummankin ajoneuvotyyppin jakaumassa on huippuarvo, joka vastannee täyteen kuormattujen ajoneuvojen keskiarvoa, Akselimassatutkimus /1/, luku 19, kuva 1. Perävaunuttomissa ajoneuvoissa (KAIP) akselimassajakauma on selvästi laakeampi eikä jakauman loppupäässä ole erotettavissa selvää huippuarvoa. Akselimassatutkimuksesta on kuitenkin johdettavissa muutamien raskaiden kuljetusten tilastoarvoja, joiden mukaan keskiarvot ja hajonnat on päätelty taulukon 19 mukaisesti. (*Vähäliikenteisten teiden siltojen taloudellinen ja turvallinen ylläpito, vaihe 1 /9/*, taulukko 15).

Taulukko 19. Ajoneuvoyhdistelmien vetoautojen raskaimman huipun normaalija-kaumat.

Ajoneuvon tyyppi	Keskiarvo [tonnia]	Keskihajonta [tonnia]
KAIP	18,35	6,20
KAPP	38,09	8,08
KAVP	57,99	11,03

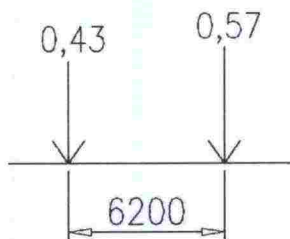
Perävaunullisten ajoneuvoyhdistelmien vetoauto on akselivälien osalta samanlainen kuin kuorma-auto ilman perävaunua. Akselijakauman mukainen keskimääräinen vetoauton massa on KAPP-yhdistelmällä 23,62 tonnia ja KAVP yhdistelmällä 30,85 tonnia. Näin ollen erillinen kuorma-auto ei näytä olevan määräävä, varsinkin kun erillinen kuorma-auto on muutenkin verraten harvinainen kuljetus perävaunullisiin verrattuna. Myös puoliperävaunullisen kuorma-auton vetoauto on selvästi kevyempi kuin varsinaisella perävaunulla varustetun yhdistelmän vetoauto. Määrääväksi kuormaksi voidaan näin ollen ottaa KAVP-yhdistelmä myös lyhyissä silloissa, missä osa kuormasta jää ajoneuvon pituuden takia kokonaan pois siltakuormasta.

Siltoja, joissa osa akselikuormista keventää määräävän kuorman rasituksia, on vaikea käsitellä tilastollisesti. Keventävä vaikutus voidaan helposti arvioida liian suureksi varsinkin, jos sysäyslisä lisätään samanaikaisesti kaikille akseleille. Virhearvio voi syntyä myös siitä, että akselivälit käytetyissä kuormakaavioissa on tarkoituksella valittu verraten pieniksi. Tämän seikan vuoksi on laskentatapa valittu siten, että määräävässä ajoneuvossa huomioidaan ainoastaan kuormaa lisäävät akselit, jotta tulokset olisivat varmalla puolella.

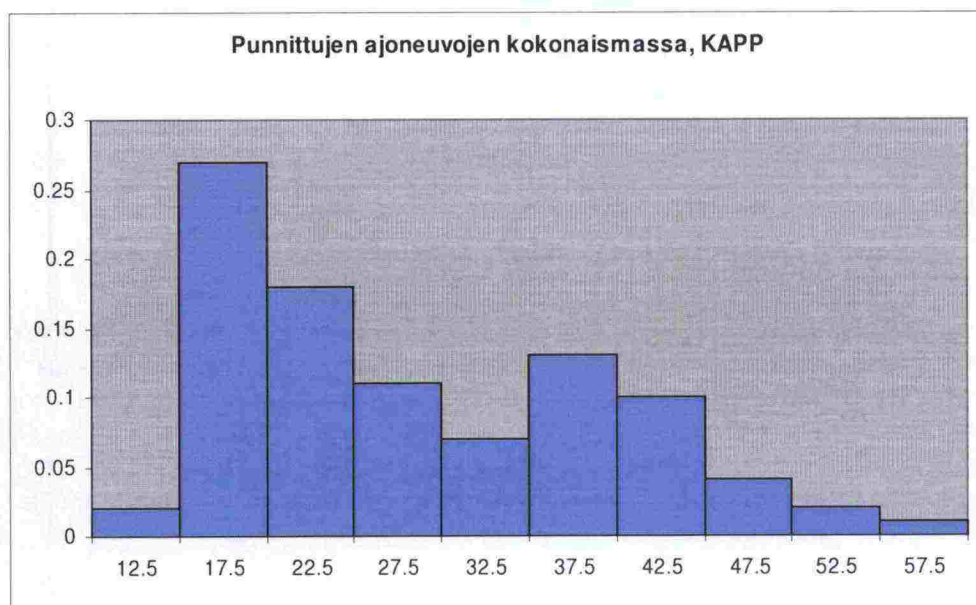
Peräkkäiset ajoneuvot

Määräävän ajoneuvon edessä ja takana voi olla muita ajoneuvoja. Lähtökohdaksi on, että raskaasti kuormattu KAVP-tyyppinen ajoneuvo on määräävässä kohdassa siltaa. Tämän ajoneuvon edessä ja takana olevien ajoneuvojen tyyppivalikoimassa on otettava huomioon kaikki painoltaan merkittävät ajoneuvotyyppit ja niiden kattavat kuormajakaumat. Jakaumassa tulee näin ollen olla mukana myös kevyemmin kuormatut sekä tyhjät ajoneuvot. Perävaunutomien kuorma-autojen massojen tiheysfunktio on lähellä lognormaalijakaumaa keskiarvona 15 tonnia ja hajontana 6 tonnia. KAPP ja KAVP-yhdistelmien massat on tiheysfunktioiden epäsäännöllisyyden vuoksi esitettävä histogrammeina kuvien 3 ja 4 mukaan 5 tonnin porrastuksin.

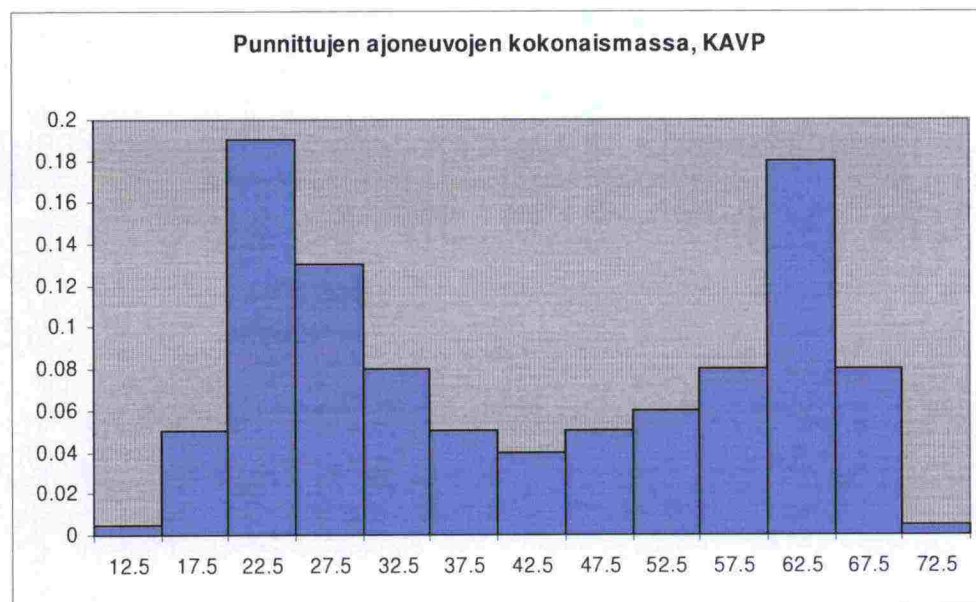
Kuorma-autojen lisäksi merkittävä kuorma voi muodostua linja-autosta. Akselimassatutkimuksen /1/ luvun 17 kuvassa 4 on esitetty kolme eri linja-autotyyppiä. Akselimassatutkimuksessa punnittiin 253 kaavion 1 mukaista kaksiakselistä linja-autoa. Vain 20:llä linja-autolla oli kolme akselia. Linja-auton massajakauma on esitetty akselimassatutkimuksen luvun 20 kuvassa 1. Linja-auton kokonaismassan keskiarvo on n. 13 tonnia ja hajonta n. 3 tonnia. Koska linja-auton akselijakaumalla ei ole tässä laskennassa suurta merkitystä, käytetään vain yhtä kaksiakselistä kuorma-kaaviota, joka on esitetty kuvassa 2. Akseliväli ja akselien suhteelliset osuudet on otettu Siltojen kantavuuslaskentaohjeen kuvasta L1.



Kuva 2. Linja-auton kuormakaavio ja akselien suhteelliset osuudet kokonaismassasta.



Kuva 3. KAPP:n massajakauma histogrammina.



Kuva 4. KAVP:n massajakauma histogrammina.

Määräävän ajoneuvon edessä ja takana olevien ajoneuvojen massajakaumien lisäksi on selvitettävä kunkin lisäkuormatyyppin esiintymistodennäköisyys ja etäisyysjakauma määräävään ajoneuvoyhdistelmään. Selvitys tehdään LAM-mittausten perusteella.

Eri ajoneuvotyyppien etäisyysjakaumat oletetaan keskenään samanlaisiksi eli ajoneuvojen keskinäinen etäisyys oletetaan ajoneuvosta riippumattomaksi. LAM-tiedostojen avulla laskettavia satunnaissuureita ovat siis ajoneuvojen keskinäiset etäisyydet, muun merkitsevän ajoneuvon tyyppi sekä muun merkitsevän ajoneuvon esiintymistodennäköisyys. Ajoneuvojen keskinäisen etäisyyden maksimiarvoksi otetaan 200 metriä, sillä tätä suuremmalla etäisyydellä määräävästä ajoneuvosta oleva muu ajoneuvo on varmasti sillan ulkopuolella tutkimuksen kohteena olevilla siltapituuksilla.

Rinnakkaiset ajoneuvot

Määräävän ajoneuvon rinnalle voi tulla toinen ajoneuvo tai kokonainen ajoneuvojono. Tämä toinen ajoneuvojono on tässä tutkimuksessa kohtaavaa liikennettä (vähäliikenteisillä teillä vain yksi kaista yhteen suuntaan).

Kohtaavan liikenteen sijaintia tarkastellaan niinkään LAM-mittausten perusteella.

Muut satunnaissuureet

Ajoneuvojen sysäyslisät ja ajoneuvon sijoittuminen sillan poikkisuunnassa ovat satunnaissuureita, joiden vaikutus sillan varmuustason arviointiin voi olla merkittävä.

Sysäyslisää on satunnaissuureena käsitelty DI Tommi Rissasen diplomityössä /6/, luku 6, kuva 1. Sysäyslisä on katsottu kolmiojakautuneeksi ja vaihtelualueeksi 1...1,5. Kun sysäyslisän tiedetään riippuvan myös sillan kansirakenteen massasta ja jäykkyydestä ja koska ei tiedetä, miten eri akselien sysäyslisät korreloivat toistensa kanssa, sysäyslisän vaikutusta ei tässä tutkimuksessa selvitetä, vaan sen katsotaan olevan deterministinen ja suoraan siltojen kantavuuslaskentaohjeen mukainen. Samoin jätetään tutkimatta ajoneuvon sijainnin merkitystä sillan poikkisuunnassa. Tässä kuormamallin kehittämisessä keskitytään toisin sanoen siihen, millainen on määräävän kuorman massajakauma ja kuinka merkittäviä ovat rinnakkaisten ja kohtaavien ajoneuvokuormien vaikutukset.

Laskenta

Liikenteen automaattisia mittauspisteitä (LAM-piste) ei ole lainkaan vähäliikenteisillä teillä, mutta ongelma ratkaistaan ottamalla tutkimuksen kohteeksi kolme vähäliikenteisintä LAM-pistettä (pisteet 1327, 1423 ja 1426). Lisäksi rajanylityspaikalla sijaitsevan LAM-pisteen (piste 581) avulla tutkitaan tilannetta, jossa esim. päätien kiertotienä toimivalla vähäliikenteisellä tiellä ajonopeudet ovat hiljaisia ja pieniä jonoja saattaa syntyä.

Muodostetut tilastolliset jakaumat on esitetty liitteessä A. Rajanylityspaikalla sijaitsevalle LAM-pisteelle on omat jakaumat ja kolmen muun LAM-pisteen jakaumat on yhdistetty. Koska määräävän ajoneuvon edessä ja takana olevien ajoneuvojen esiintymistodennäköisyysjakaumat ovat lähes identtiset, on

liitteessä esitetty vain yhdet jakaumat. Määräävää ajoneuvoa vastaan tulevan ajoneuvon etäisyysjakauma y on hyvin lähellä tasaista jakaumaa, joten laskennassa on järkevää käyttää tasaista jakaumaa välillä $[-200, 200]$. Määräävän ajoneuvon edellä ja takana ajavien ajoneuvojen etäisyysjakaumat ovat melko samanlaiset, joten laskennassa käytetään vain yhtä jakaumaa.

Siltojen taivutusmomentit määräävissä kohdissa lasketaan vaikutusviivojen avulla. Laskenta tehdään tietokoneavusteisesti VAP-ohjelmalla, jolloin vaikutusviivoista on muodostettava polynomeja (2 – 5 asteisia). Polynomeilla voidaan varsin tarkasti kuvata todellisia vaikutusviivoja. Tutkittaviksi silloiksi otetaan 1- ja 3-aukkoiset sillat, joiden jännemitat ovat 20, 60 ja 100 metriä. Sillat ovat kaksipalkkisia ja palkkiväli on 4 metriä. Kuormat jaetaan palkeille vipuvarsisäännöllä.

Taivutusmomentit lasketaan Monte Carlo – menetelmällä ja laskennan tuloksena saadaan kerran sadassa vuodessa esiintyvän kuormituksen aiheuttamat taivutusmomentit tutkittavissa pisteissä. Määräävän ajoneuvon ajomääränä käytetään 5000 ylitystä vuodessa. Tämä arvio on saatu LAM-tiedostojen ja Akselimassatutkimuksen avulla. Se on hyvä arvio pitkälle aikavälille, vaikka ajoittain liikenne olisikin vilkkaampaa.

Tulokset

Kuormamallista saadut kerran sadassa vuodessa esiintyvän kuorman aiheuttamat taivutusmomentit on esitetty taulukossa 20 yksi- ja kolmiauukkoiselle sillalle määräävissä kohdissa jänneväleittäin. Taulukossa on erikseen arvot kapeille (hyötyleveys $HL < 6$ m) ja leveille ($HL \geq 6$ m) silloille. Kun hyötyleveys on alle 6 metriä, mahtuu sillalle vain yhdensuuntaista liikennettä kerrallaan. Taulukon arvot ovat laskentatapauksista 1 – 3 saadut määräävimmat arvot.

Taulukko 20. Kerran sadassa vuodessa esiintyvän kuorman aiheuttamat taivutusmomentit pitkillä silloilla [MNm]. "Vain määräävä" tarkoittaa tapausta, jossa sillalla on yksin määräävä ajoneuvo, ei muita merkitseviä ajoneuvoja. HL = hyötyleveys.

Jänne- mitta	Tyyppi	1-auk- koinen	3-aukkoinen		
			reunakenttä	tuki	keskikenttä
100	kapea, HL < 6	31,6	24	20	22,8
	leveä, HL ≥ 6	33	24	20,4	23,2
	vain määräävä	28,8	23	12,25	21,5
60	kapea, HL < 6	16,25	13	10,65	12,28
	leveä, HL ≥ 6	16,3	13,1	10,7	12,4
	vain määräävä	16,05	12,96	7,17	12,16
20	kapea, HL < 6	3,92	3,18	2,71	2,97
	leveä, HL ≥ 6	3,95	3,23	2,77	3
	vain määräävä	3,92	3,16	2,29	2,96

Tuloksista havaitaan, että muun merkitsevän ajoneuvon tuoma lisä taivutusmomenttiin on varsin pieni, paitsi tuella, jossa muilla ajoneuvoilla on varsin suuri vaikutus taivutusmomenttiin. Vastaan tulevan ajoneuvon merkitys on myös varsin pieni, mikä nähdään verrattaessa kapeiden ja leveiden siltojen tuloksia keskenään.

Kuormamallin vertailu AA90-kuormaan

Taulukossa 21 on esitetty AA90-kuormalle vaadittavat osavarmuuskertoimet, jotta AA90-kuorma vastaisi vähäliikenteisellä tiellä kerran sadassa vuodessa esiintyvää kuormaa. Osavarmuuskertoimet on laskettu suoraan jakamalla kuormamallin taivutusmomentit AA90-kuorman taivutusmomenteilla. AA90-kuorman taivutusmomentit on laskettu kuormamalliin syötettyjen vaikutusvii-vapolynomien avulla, jolloin tulos vastaa täysin kuormamallin tuloksia.

Taulukko 21. AA90-kuormalle vaadittavat osavarmuuskertoimet, jotta AA90-kuorma vastaisi kerran sadassa vuodessa esiintyvää kuormitusta.

Jänne- mitta	Tyyppi	1-auk- koinen	3-aukkoinen		
			reunakenttä	tuki	keskikenttä
100	kapea, HL < 6	1,37	1,38	1,34	1,29
	leveä, HL ≥ 6	1,43	1,38	1,52	1,31
	vain määräävä	1,81	1,81	1,81	1,81
60	kapea, HL < 6	1,66	1,72	1,35	1,56
	leveä, HL ≥ 6	1,42	1,41	1,36	1,43
	vain määräävä	1,81	1,81	1,81	1,81
20	kapea, HL < 6	1,81	1,72	1,11	1,81
	leveä, HL ≥ 6	1,41	1,43	1,14	1,42
	vain määräävä	1,81	1,81	1,81	1,81

Tulosten yleispiirre on, että kahden auton ollessa kyseessä on nykyisten osavarmuuskerrointen suuruusluokka kohdallaan. Kun kyseessä on vain yksi auto, on nykyinen osavarmuuskerroin (1,45) huomattavasti pienempi kuin vaadittava 1,8. Myös lyhyempien kapeiden siltojen vaadittavat kertoimet ovat huomattavasti suurempia kuin nykyiset kertoimet, mikä johtuu siitä, että määräävän ajoneuvon edellä tai perässä ajavalla ajoneuvolla ei juurikaan ole merkitystä. Tällöin vaadittava osavarmuuskerroin lähenee yhdelle autolle vaadittavaa varmuuskerrointa 1,81.

Tällä varmuuskerroinvertailulla ei tässä tutkimuksessa ole suurta merkitystä, koska siltojen vaadittavat osavarmuuskertoimet AA90-kuormalle haetaan siltojen myötö/murtotodennäköisyyksien kautta. Tällä on kuitenkin suuntaa antava, laajempi merkitys mietittäessä nykyisen kantavuuslaskentaohjeen /7/ mukaisen kuorman riittävyttä todellisille kuormille. Kantavuuslaskentaohjeen mukainen kuorma on kylläkin ajoneuvoasetusten mukainen, mutta sen pitäisi ottaa huomioon myös ylläskaat kuljetukset, joiden osuus ei ainakaan ole pienenemässä.

4.2 Pitkien siltojen luotettavuuden arviointi kuormamallin ja kantavuuslaskentaohjeen mukaan

Pitkien siltojen osavarmuuskertoimet AA90-kuormalle on taulukoitu liitteessä C. Tutkittavina siltoina ovat

- Betonipalkkisilta, jonka jännemitta on 20 m
- Teräspalkkisilta puu- tai betonikannella, jännemitat 20, 60 ja 100 m

Siltojen palkkivälinä on 4 metriä. Hyötyleveys voi olla alle tai yli 6 metriä (kun HL ≥ 6 m, niin sillalle mahtuu kahdensuuntaista liikennettä yhtä aikaa).

Liitteen C taulukoista huomataan, että betonisillat omaavat keskimäärin paremmat varmuudet kuin terässillat (betonisilloista tutkittiin vain 20-metriset sillat). Terässiltojen osalta pidempien siltojen (60 ja 100 m) varmuus on suu-

rempi kuin lyhyiden (20 m). Tämä johtuu siitä, että vanhojen suunnittelu-kuormien tasaiset kuormat ovat melko suuria ja akselikuormat varsin pieniä, jolloin pidemmälle sillalle aiheutuvat rasitukset ovat suhteellisesti suurempia kuin lyhyemmälle sillalle aiheutuvat rasitukset. Suuria eroja varmuuksiin ei tule eri palkkiväleistä ja hyötyleveyksistä. Erot varmuuksissa johtuvat siis lähes yksinomaan jännemitasta ja sillan materiaalista.

Kuten lyhyille silloille, määritetään myös pitkille silloille vaadittavat osavarmuuskertoimet AA90-kuormalle pitkän aikavälin myötö / murtotodennäköisyyksien avulla. Kerran sadassa vuodessa esiintyvä kuormitus saadaan luvun 4.1 kuormamallista. Pitkien siltojen osalta ei tarvitse tutkia erikseen metsäkonekuljetuksia, koska ne sisältyvät kuormamalliin eikä niillä sitä paitsi ole pitkille silloille suurta merkitystään. Myöskään sysäyslisätöntä tapausta ei kannata tutkia, koska sysäyslisä on niin pieni pitkillä silloilla (luokkaa 1,1).

Taulukoissa 22 ja 23 on esimerkkinä betonipalkkisillan ja teräspalkkisillan myötö- ja murtotodennäköisyydet.

Taulukko 22. Myötö/murtotodennäköisyydet, kuormamallin kuormista eri osavarmuuskertoimen AA90-kuormalle omaaville pitkille silloille sadan vuoden aikajaksolle. Siltatyyppi on teräsbetoninen palkkisilta, jännemitta 20 m, hyötyleveys HL < 6m, palkkiväli k/k = 4m.

Osavarmuus AA90-kuormalle:	Myötö			
	1-auk- koinen	3-aukkoinen		
		reunakenttä	tuki	keskikenttä
0.8	0,730	0,831	0,505	0,868
0.9	0,507	0,638	0,307	0,657
1	0,323	0,401	0,177	0,484
1.1	0,177	0,259	0,089	0,300
1.3	0,063	0,091	0,031	0,102
1.6	0,014	0,022	0,007	0,025
2	0,003	0,005	0,002	0,005
	Murto			
	1-auk- koinen	3-aukkoinen		
		reunakenttä	tuki	keskikenttä
0.8	0,105	0,143	0,051	0,176
0.9	0,049	0,073	0,022	0,092
1	0,025	0,032	0,011	0,042
1.1	0,011	0,018	0,005	0,020
1.3	0,004	0,006	0,002	0,006
1.6	0,0009	0,0013	0,0004	0,0017
2	0,0002	0,0003	0,0001	0,0004

Taulukko 23. Myötö/murtotodennäköisyydet kuormamallin kuormista eri osavarmuuskertoimen AA90-kuormalle omaaville pitkille silloille sadan vuoden aikajaksolle. Siltatyyppejä on teräksinen palkkisilta puukannella, jännemitta 60 m, hyötyleveys HL < 6m, palkkiväli k/k = 4m.

Osavarmuus AA90-kuormalle:	Myötö			
	1-auk- koinen	3-aukkoinen		
		reunakenttä	tuki	keskikenttä
0.8	0,706	0,753	0,632	0,818
0.9	0,467	0,526	0,406	0,599
1	0,287	0,322	0,241	0,392
1.1	0,170	0,193	0,134	0,240
1.3	0,057	0,068	0,045	0,086
1.6	0,013	0,016	0,010	0,020
2	0,003	0,003	0,002	0,004
	Murto			
	1-auk- koinen	3-aukkoinen		
		reunakenttä	tuki	keskikenttä
0.8	0,096	0,114	0,077	0,144
0.9	0,044	0,052	0,034	0,068
1	0,021	0,025	0,016	0,032
1.1	0,011	0,012	0,008	0,017
1.3	0,003	0,004	0,003	0,005
1.6	0,0008	0,0009	0,0007	0,0012
2	0,0002	0,0002	0,0002	0,0003

Myötö- ja murtotodennäköisyydet noudattavat samaa linjaa kuin lyhyilläkin silloilla. Jänneväliään 20-metriset sillat menettävät kantavuutensa selvästi todennäköisemmin kuin tätä pidemmät (60 ja 100 m) sillat.

Samoin perustein kuin lyhyilläkin silloilla on pitkille silloille määritetty vaadittavat varmuuskertoimet taulukkoon 24.

Taulukko 24. Vaadittavat osavarmuuskertoimet AA90-kuormalle pitkillä silloilla tämän tutkimuksen vähäliikenteisille silloille. Teräs 1 = puukantinen teräspalkkisilta, Teräs 2 = betonikantinen teräspalkkisilta, HL = hyötyleveys.

Siltatyyppi	HL > 6			
	1-auk- koinen	reunakenttä	3-aukkoinen tuki	keskikenttä
Betoni 20m	1	1,1	1,1	1,1
Teräs 1 20 m	1,2	1,2	1,3	1,1
Teräs 2 20 m	1,1	1,1	1,1	1,1
Teräs 1 60 m:	1,1	1,1	1,1	1,1
Teräs 2 60 m:	1	1	1	1
Teräs 1 100 m:	1,1	1,1	1,1	1,1
Teräs 2 100 m:	1	1	1	1

Siltatyyppi	HL < 6			
	1-auk- koinen	reunakenttä	3-aukkoinen tuki	keskikenttä
Betoni 20m	1,3	1,3	1,1	1,3
Teräs 1 20 m:	1,5	1,5	1,3	1,5
Teräs 2 20 m:	1,3	1,4	1,2	1,4
Teräs 1 60 m:	1,3	1,3	1,3	1,3
Teräs 2 60 m:	1,1	1,1	1	1,2
Teräs 1 100 m:	1	1	1,1	1
Teräs 2 100 m:	1	1	1	1

5 KANTAVUUSPUUTTEIDEN ARVIOIMINEN

5.1 Ongelmasiltojen raja

Kantavuudeltaan puutteelliset ns. ongelmasillat esitetään Siltarekisterin kuormaluokittain. Kuormaluokkia vastaavat kuormakaaviot on esitetty taulukossa 25.

Taulukko 25. Siltarekisterin kuormaluokkia vastaavat kuormakaaviot.

Siltarekisterin kuormaluokka	Kuormakaavio
11	6 tonnin ajoneuvo
12	9 tonnin ajoneuvo
13	12 tonnin ajoneuvo
14	AIII
15	AII
16	AI
27	MAA75
28	AA90

5.2 Lyhyet ongelmasillat tyypeittäin (jännemitta alle 10 m)

Betonilaattasilat, kantavuudeltaan puutteellisia ovat:

- Ohuet ja hyötyleveydeltään pienet ($HL < 6$ m) laatat, joiden suunnittelukuorma on :
 - 12 tai pienempi, kun jännemitta $L = 2 - 3$ m
 - 13 tai pienempi, kun jännemitta $L = 3 - 5$ m
 - 14 tai pienempi, kun jännemitta $L = 5 - 10$ m
- Ohuet ja leveät ($HL \geq 6$ m) laatat, joiden suunnittelukuorma on:
 - 12 tai pienempi, kun jännemitta $L = 2 - 3$ m
 - 13 tai pienempi, kun jännemitta $L = 3 - 10$ m
- Paksut ja kapeat ($HL < 6$ m) laatat, joiden suunnittelukuorma on:
 - 11 tai pienempi, kun jännemitta $L = 2 - 3$ m
 - 13 tai pienempi, kun jännemitta $L = 3 - 7$ m
 - 12 tai pienempi, kun jännemitta $L = 7 - 10$ m
- Paksut ja leveät ($HL \geq 6$ m) laatat, joiden suunnittelukuorma on:
 - 11 tai pienempi, kun jännemitta $L = 2 - 3$ m
 - 13 tai pienempi, kun jännemitta $L = 3 - 5$ m
 - 11 tai pienempi, kun jännemitta $L = 5 - 7$ m

Kantavuudeltaan puutteellisia eivät kuitenkaan ole tyyppisarjan DA mukaiset laattasilat, joiden on todettu sekä käytännössä että laskennallisesti kestäväen nykykuormat hyvin. Vaikka BA-tyypisarjan laattasilat eivät laskennallisesti välttämättä kestäisi todellisia liikennekuormia, voidaan nekin kuitenkin todeta kantavuudeltaan riittäviksi sillä perusteella, että kun niitä on otettu tehostettuun tarkkailuun, niin tehostettu tarkkailu on ajan myötä poistettu, koska vaurioita ei ole syntynyt (tai vauriot eivät ole kasvaneet).

Betonipalkkisillat, kantavuudeltaan puutteellisia ovat

- Hyötyleveydeltään < 6 metriset sillat, joiden suunnittelukuorma on:
 - 14 tai pienempi, kun jännemitta $L = 4 - 7$ m
 - 13 tai pienempi, kun jännemitta $L = 7 - 9$ m
 - 12 tai pienempi, kun jännemitta $L = 9 - 10$ m
- Hyötyleveydeltään ≥ 6 metriset sillat, joiden suunnittelukuorma on:
 - 13 tai pienempi, kun jännemitta $L = 4 - 7$ m
 - 12 tai pienempi, kun jännemitta $L = 7 - 9$ m
 - 11 tai pienempi, kun jännemitta $L = 9 - 10$ m

Puupalkkisillat, kantavuudeltaan puutteellisia ovat

- Kaikki sillat, joiden suunnittelukuorma on:
 - 15 tai pienempi (suunnittelukuorman 16 on todettu olevan riittävä käytännön kokemusten perusteella (luku 2.3))
 - 27 (MAA75), kaikki jännemitat
 - 28 (AA90), kaikki jännemitat

Teräspalkkisillat, kantavuudeltaan puutteellisia ovat

- Kaikki sillat, joiden suunnittelukuorma on:
 - 14 tai pienempi
 - 27 (MAA75) ja jännemitta $L = 2 - 8$ m
 - 28 (AA90) ja jännemitta $L = 2 - 5$ m

5.3 Pitkät ongelmasillat tyypeittäin (jännemitta 10 - 100 m)

Betonipalkkisillat, kantavuudeltaan puutteellisia ovat

- Kaikki sillat, joiden suunnittelukuorma on:
 - 14 tai pienempi

Teräspalkkisillat, kantavuudeltaan puutteellisia ovat

Jännevälialueella 11 – 39 metriä:

- Kaikki moniaukkoiset sillat, joiden suunnittelukuorma on:
 - 15 tai pienempi
- 1-aukkoiset sillat, joiden hyötyleveys $HL < 6$ m ja suunnittelukuorma on:
 - 15 tai pienempi, kun $HL < 6$ m
 - 14 tai pienempi, kun $HL \geq 6$ m

Jännevälialueella 40 – 79 metriä:

- kaikki sillat, joiden suunnittelukuorma on:
 - 15 tai pienempi, kun $HL < 6$ m
 - 14 tai pienempi, kun $HL \geq 6$ m

Jännevälialueella 80 – 100 metriä:

- moniaukkoiset puukantiset sillat, joiden suunnittelukuorma on:
 - 14 tai pienempi
- moniaukkoiset betonikantiset sillat, joiden suunnittelukuorma on:
 - 13 tai pienempi, kun HL < 6 m
 - 14 tai pienempi, kun HL ≥ 6 m
- 1-aukkoiset puukantiset sillat, joiden suunnittelukuorma on:
 - 15 tai pienempi
- 1-aukkoiset betonikantiset sillat, joiden suunnittelukuorma on:
 - 14 tai pienempi

Kantavuudeltaan puutteellisten siltojen lukumäärät siltatyypeittäin on esitetty taulukossa 26. Nämä lukumäärät eivät sisällä painorajoitettuja eikä tehostetussa tarkkailussa olevia siltoja. Painorajoitettut ja tehostetussa tarkkailussa olevat vähäliikenteisten teiden sillat on esitetty taulukossa 28. Taulukossa 26 on suluissa esitetty alun perin arvioidut määrät silloista, joiden kantavuus olisi alle vaatimustason (arvio tehty selvityksessä *Vähäliikenteisten siltojen taloudellinen ja turvallinen ylläpito, vaihe 1 /9/*). Taulukossa 26 ei ole myöskään esitetty niitä kantavuudeltaan puutteellisia siltoja, joiden suunnittelukuorma oli tuntematon. Näitä siltoja on yhteensä n. 30.

Taulukko 26. Kantavuudeltaan puutteellisten siltojen määrät siltatyypeittäin.

Siltatyyppi	Suunnittelukuorma						
	6T	9T	12T	AIII	AII	MAA75	YHT.
Betonilaatta	-	31 (226)	5 (41)	-	- (15)	-	36 (282)
Betonipalkkisilta	-	9 (11)	- (1)	-	- (12)	-	9 (24)
Muu betonisilta	1 (2)	1 (1)	1 (1)	-	- (21)	-	3 (25)
Teräspalkkisilta	1 (1)	8 (9)	3 (3)	-	8 (17)	42 (70)	62 (100)
Muu terässilta	-	-	1 (1)	-	- (1)	2 (2)	3 (4)
Puupalkkisilta	3 (3)	- (2)	16 (16)	1 (1)		2 (4)	22 (26)
KAIKKI YHTEENSÄ:							135 (461)

Taulukossa 27 on esitetty sellaisten laattasiltatyyppisarjojen DA ja BA siltojen lukumäärät, jotka olisivat suunnittelukuorman ja siltatyyppin mukaan kantavuudeltaan puutteellisia siltoja.

Taulukko 27. DA- ja BA- laattatyypisarjojen lukumäärät vapaa-aukoittain vähäliikenteisillä teillä.

Tyypisarja	Lukumäärä	Vapaa-aukko
53 2.0 DA, 1	30	2,0
54 2.5 DA, 1	35	2,5
55 3.0 DA, 1	43	3,0
56 3.5 DA, 1	13	3,5
57 4.0 DA, 1	22	4,0
58 4.5 DA, 1	16	4,5
59 5.0 DA, 1	13	5,0
DA Yhteensä:	172	
63 BA/3, 2	1	2,0
65 BA/5, 2	3	3,0
66 BA/6, 2	5	3,5
68 BA/8, 2	1	4,5
69 BA/9, 2	5	5,0
70 BA/10, 2	1	5,5
71 BA/11, 2	2	6,0
72 BA/12, 2	1	6,5
BA yhteensä:	19	

Taulukko 28. Painorajoitetut ja tehostetussa tarkkailussa olevat vähäliikenteisten teiden sillat siltatyypeittäin.

<u>TEHOSTETTU TARKKAILU</u>	
Betoninen laattasilta	9
Muu betonisilta	11
Teräspalkkisilta	20
Puinen palkkisilta	17
Kivinen holvisilta	7
YHTEENSÄ:	64
<u>TEHOSTETTU TARKKAILU JA PAINORAJOITUS</u>	
Betonipalkkisilta	1
Teräspalkkisilta	6
Teräksinen ristikkosilta	1
Riippusilta	1
Puinen palkkisilta	5
Kivinen holvisilta	1
YHTEENSÄ:	15
<u>PAINORAJOITETUT</u>	
Betoninen laattasilta	3
Muu betonisilta	23
Teräspalkkisilta	73
Teräksinen ristikkosilta	10
Muu terässilta	3
Puinen palkkisilta	46
Kivinen holvisilta	2
YHTEENSÄ:	160
KAIKKI YHTEENSÄ:	239

Yhteensä kantavuudeltaan puutteellisia siltoja on vähäliikenteisillä teillä n. 340 kappaletta. Tähän ei ole laskettu pelkästään tehostetussa tarkkailussa olevia siltoja, koska tehostettu tarkkailu yleensä ajan myötä poistetaan, jos silta todetaan kestäväksi (vauriot eivät lisäännä).

6 VAHVENTAMISMENETELMÄT

6.1 Yleistä

Yleisimmät silloissa käytetyt vahventamismenetelmät ovat:

- pääkannattajien lisääminen
- teräs- tai hiilikuitulevyjen liimaaminen
- jälkijännittäminen
- liittovaikutuksen aikaansaaminen

Kantavuudeltaan puutteellisten ongelmasiltojen osalta vahventaminen voi tulla kyseeseen vain teräs- ja betonipalkkisiltojen kohdalla.

Vahventamistoimenpiteitä suunniteltaessa käytetään suunnittelukuormana ensisijaisesti sillansuunnitteluohjeiden mukaisia liikennekuormia. Jos raskaan liikenteen osuus on vähäinen eikä ylliraskaiden kuljetusten tarvetta ole, suunnittelukuormana voidaan käyttää kulloinkin voimassa olevan ajoneuvoasetuksen mukaista kuormakaaviota (AA90), mikäli suuremman suunnittelukuorman käyttäminen ei ole teknisesti ja taloudellisesti tarkoituksenmukaista.

6.2 Teräspalkkisillat

Kantavuudeltaan riittämättömien siltojen koko ja toiminnalliset puutteet huomioon ottaen terässiltojen ainoa sovelias kantavuuden parantamistapa on puukantisen teräspalkkisillan pääkannattajien lisääminen kannen uusimisen yhteydessä. Korjaustyötä varten on laadittava suunnitelma, jota tehtäessä selvitetään myös mahdollisuus sillan levenyttämiseen.

Lisättävien palkkien korkeuden ja jäykkyyden tulee olla mahdollisimman lähellä alkuperäisten palkkien ominaisuuksia. Palkkeja asennettaessa palkkien oikea korkeusasema ja mahdollinen poikittaiskallistus on toteutettava laakerointijärjestelyin eikä palkin päälle asennettavilla täytteillä. Vanhojen palkkien pintakäsittely on uusittava ennen uuden kannen asentamista.

Yksittäisille silloille voidaan tehdä muitakin erikseen suunniteltavia vahventamistoimenpiteitä.

6.3 Betonipalkkisillat

Betonipalkkisiltojen soveliain vahventamismenetelmä on teräs- tai hiilikuitulevyjen liimaaminen. Teräslevyt kiinnitetään injektointiliimauksella ja hiilikuitunauhat puristusliimauksella. Vahventamistyöstä on laadittava suunnitelma.

Liimausvahventamisen suunnittelu ja toteutus edellyttää betonirakenteen erikoistarkastusta, jossa selvitetään rakenteen soveltuvuus liimaamalla vahvennettavaksi ja määritetään tarvittavat paikkaus- ja muut korjaustoimenpiteet. Tärkeimmät vaatimukset ovat, että betonipinnalla on riittävä tartuntavertolujuus ja ettei raudoituksen korroosio ole käynnistynyt.

Liimausvahventamisen suunnittelussa ja toteutuksessa noudatetaan Tiehallinnon julkaisua *Betonirakenteiden liimausvahventamisohjeet /3/*.

7 SILTOJEN YLLÄPIDON SUUNNITTELU

7.1 Kantavuudeltaan puutteelliset sillat, jotka eivät ole painorajoitettuja tai tehostetussa tarkkailussa

7.1.1 Yleistä

Nämä sillat ovat tässä raportissa selvitettyjä kantavuudeltaan puutteellisia siltoja, jotka eivät ole painorajoitettuja tai tehostetussa tarkkailussa. Alun perin oli tarkoitus määrittää suuntaa antavat alustavat toimenpidearviot kantavuudeltaan puutteellisille silloille siltajoukoittain (siltatyypin ja suunnittelukuorman mukaan). Muutamien siltakohtaisten tarkastelujen jälkeen kuitenkin huomattiin, että silloille ei pelkän suunnittelukuorman ja siltatyypin mukaan voida määrittellä tiettyä jatkotoimenpidettä kantavuuspuutteen poistamiseksi. Jos yleislinjaus siltajoukoittain tehtäisiin, tulisi kuitenkin myöhemmissä siltakohtaisissa selvityksissä vastaan täysin yleislinjauksista poikkeavia tapauksia. Syynä tähän ovat muun muassa:

- Päälysrakenteen uusimisesta ja perusparantamisesta johtuva kantavuuden paraneminen ei useinkaan käy ilmi Siltarekisterin kantavuustiedoista, koska sillan suunnittelukuormana on edelleen sillan valmistusajankohdan mukainen alkuperäinen suunnittelukuorma.
- Alusrakenteen tyyppi ja perustamistapa vaikuttavat sen käyttöikään ja päälysrakenteen uusimismahdollisuuksiin.
- Sillan puutteellinen leveys on suhteutettava sillan liikennemäärään ja tien geometriaan. Tämä vaikuttaa kantavuuden parantamistoimenpiteiden valintaan siltakohtaisesti.
- Lyhyiden siltojen, joiden jännemitta on alle 10 metriä, vahventaminen ei yleensä ole kannattavaa, koska ne ovat useasti myös täydellisen peruskorjauksen tarpeessa. Tällöin esim. koko päälysrakenteen uusiminen on sekä teknisesti että taloudellisesti kannattavampaa kuin vahventaminen.

7.1.2 Jatkotoimenpiteet

Tässä tutkimuksessa määritettyjen kantavuudeltaan puutteellisten siltojen mahdolliset jatkotoimenpiteet jaetaan neljään eri toimenpideryhmään:

1. Kantavuuden tarkistus + erikoistarkastus + peruskorjaus
2. Päälysrakenteen uusiminen + muiden rakenteiden peruskorjaus
3. Vahventaminen
4. Loppuun käyttö ja uusiminen + erikoistarkastus + tehostettu tarkkailu

Kiireellisimmät toimenpiteet on alleviivattu. Toimenpideryhmät on tarkemmin esitelty kohdissa 7.1.3 – 7.1.6. Kantavuudeltaan puutteelliset sillat jaetaan

eri toimenpideryhmiin Siltarekisterin perus- ja tarkastustietojen sekä silloista tarkastusten yhteydessä otettujen valokuvien perusteella käyttäen hyväksi käytännön kokemuksesta saatuja tietoja. Keskeisiä arviointiperusteita ovat:

- Alusrakenteen tyyppi ja perustamistapa
- Päälysrakenteen uusimisen tai perusparannuksen ajankohta
- Tien liikennemäärä
- Sillan puutteellinen leveys liikennemäärään suhteutettuna
- Sillan kunto- ja vauriotiedot
- Sillan yleis- ja vauriokuvat ja niistä saatu yleiskuva kokonaisuudesta ja olosuhteista

Toimenpideryhmään 1 eli "kantavuuden tarkistus + erikoistarkastus + peruskorjaus" sijoitetaan lähinnä sellaiset sillat, joiden valmistumisvuosi tai päälysrakenteen uusimisen tai perusparannuksen ajankohta antaa aihetta olettaa, että päälysrakenteen kantavuus on ainakin rekisteritietoa parempi ja mahdollisesti myös riittävä.

Eri jatkotoimenpiteiden kustannukset ja eri toimenpideryhmiin kuuluvien siltajen määrät on esitetty luvussa 7.3.2.

7.1.3 Kantavuuden tarkistus + erikoistarkastus + peruskorjaus (toimenpideryhmä 1)

Selvitetään päälysrakenteen uusimisen tai perusparannuksessa tehdyn vahventamisen (esim. teräspalkkien lisäys) suunnittelukuorma suunnitelmista tai piirin arkiston korjaustiedoista ja tätä kautta määritetään sillan todellinen kantavuustaso. Jos silta täyttää vaaditun kantavuustason, tehdään sillalle erikoistarkastus, jossa määritetään peruskorjauksen tarve ja optimiajan kohta. Kantavuuden tarkistus pitäisi tehdä sillalle mahdollisimman pian. Peruskorjauksen ajankohta voi olla vasta 20 vuoden päästä tai jopa 40 vuoden päästä, jos sillan päälysrakenne on hiljattain uusittu tai peruskorjattu.

Jos sillan kantavuus todetaan puutteelliseksi, siirretään silta toimenpideryhmään 2 tai 4 eli "Päälysrakenteen uusiminen + muiden rakenteiden peruskorjaus" tai "Loppuun käyttö ja uusiminen + erikoistarkastus + tehostettu tarkkailu".

7.1.4 Päälysrakenteen uusiminen + peruskorjaus (toimenpideryhmä 2)

Sillan päälysrakenteelle tehdään uusimissuunnitelma. Muille rakenteille (alusrakenteet) tehdään erikoistarkastus ja korjaussuunnitelma peruskorjauksista varten. Nämä ovat kiireellisiä toimenpiteitä ja ne tulisi tehdä 5 vuoden sisällä.

7.1.5 Vahventaminen (toimenpideryhmä 3)

Kysymykseen tulevat vain luvussa 6 esitetyt vahventamismenetelmät. Teräspalkkisillat on aluksi sijoitettava johonkin muuhun jatkotoimenpideryh-

mään ja vasta peruskorjaussuunnitelman yhteydessä voidaan esittää palkki-
en lisäämistä.

7.1.6 Loppuun käyttö ja uusiminen + erikoistarkastus + tehos- tettu tarkkailu (toimenpideryhmä 4)

Sillantarkastusohjeessa määritellyt erikoistarkastuksen päätarkastajan päte-
vyysvaatimukset täyttävä henkilö tekee sillalle yleistarkastuksen, tarvittaessa
siltakohtaisten tarpeiden mukaan erikoismenetelmin täydennettynä (esim.
kasvukaira). Tarkastuksessa määritetään tehostetun tarkkailun tarve, erityi-
sesti seurattavat kohdat, tarkastusmenetelmät ja tarkastusväli. Lisäksi an-
taan arvio sillan käytöstä poistamisen ajankohdasta. Yleistarkastus on kii-
reellinen toimenpide ja sillan uusiminen on todennäköisesti edessä 20 vuo-
den sisällä. Siltaa uusittaessa tutkitaan, voidaanko vanhoja alusrakenteita
käyttää hyväksi.

7.1.7 Jatkotoimenpiteet siltakohtaisesti

Seuraavassa on käsitelty tässä tutkimuksessa selvitettyjen kantavuudeltaan
puutteellisten siltojen jatkotoimenpiteitä siltatyypeittäin.

Puusillat

Suurin osa puusilloista on toimenpideryhmässä 4 eli loppuun käyttö ja uusi-
minen. Suurin osa puisista kantavuudeltaan puutteellisista silloista on perus-
tettu puupaaluilla. Vanhojen puupaalu- ja puupukkialusrakenteiden hyväksi-
käyttö ei yleensä ole kannattavaa eikä usein järkevästi mahdollistakaan, jo-
ten näiden siltojen osalta myös alusrakenteet menevät uusiksi. Massiivisille
alusrakenteille päällysrakenteen uusiminen on varteenotettava ja hyvinkin
vaihtoehto ja tällaisia tapauksia on muutama. Puusiltojen osalta vahventa-
minen ei tule kysymykseen.

Terässillat

Kantavuudeltaan puutteellisista terässilloista kaksi kolmasosaa on suunnitel-
tu MAA75-kuormalle päällysrakenteen uusimisen tai korjaamisen yhteydes-
sä 1970- tai 1980-luvulla. Muutama uudempikin korjaus- tai uusimisoperaa-
tio on tehty. Suurimmalle osalle näistä silloista on toimenpide-ehdotuksena
toimenpideryhmä 1 eli kantavuuden tarkistus + erikoistarkastus + peruskor-
jaus. Muutamia siltoja on sijoitettu myös toimenpideryhmiin 2 ja 4.

Muidenkin terässiltojen päällysrakenteita on melko paljon uusittu ja korjattu,
mutta suunnittelukuormana on pysynyt alkuperäinen (suunnittelukuorma-
luokka 11 – 16). Jäljelle jää vain reilu 10 terässiltaa, joiden päällysrakenteel-
le ei ole tehty korjausta tai uusimista. Muilla kuin MAA75:lle suunnitelluilla
terässilloilla, on jatkotoimenpide-ehdotuksena lähinnä toimenpideryhmä 1 tai
2 ja hieman enemmän on siltoja sijoitettu ryhmään 1. Ryhmässä 4 on yksi
terässilta.

Terässilloilla voi vahventaminen tulla kysymykseen kannen uusimisen yh-
teydessä, mutta tässä ei suoraan voida ehdottaa vahventamista.

Betonilaattasillat

Kantavuudeltaan puutteelliset betonilaattasillat ovat yhtä lukuun ottamatta jännemitaltaan alle 6 metrisiä, jolloin ne kannattaa käyttää hallitusti loppuun tehostetun tarkkailun alaisena. Tämä voidaan perustella käytännön kokemuksesta saatujen tietojen avulla, eli pientenkin suunnittelukuormien sillat on usein todettu varsin hyväkuntoisiksi, vaikka niillä tiedetään kulkeneen raskaita ajoneuvoja. Olosuhteisiin nähden selvästi kapeille silloille päällysrakenteen uusiminen voisi olla hyvä ratkaisu, jos alusrakenteet ovat vankat ja kohtuullisessa kunnossa. Lyhyiden laattasiltojen vahventaminen ei tule kysymykseen.

Muut betonisillat

Kantavuudeltaan puutteellisten siltojen joukossa on vain 16 muuta betonisillaa kuin laattasillaa. Näistä kaksi on uusittu, yksi on muutettu raittisillaksi ja yksi on jo vahvennettu hiilikuidulla. Kantavuudeltaan puutteellisten betonisiltojen (ei laatta) jatkotoimenpiteistä ei voida sanoa mitään yleistä, koska sillat ovat varsin eri tyyppisiä. Vahventamista voisi harkita kahden sillan kohdalla, mutta lähemmin tarkasteltuna se ei ole järkevää. Toinen silloista on nimittäin kapea, jolloin palkit eivät kuitenkaan kestäisi sillan leventämistä, ja toisen sillan arinapalkisto ja pilarit on kauttaaltaan ruiskubetonoitu.

7.2 Muut vähäliikenteiset sillat

7.2.1 Yleistä

Muita siltoja ovat kaikki vähäliikenteiset sillat, joiden kantavuus on todettu riittäväksi tai jotka ovat painorajoitettuja ja/tai tehostetussa tarkkailussa. Painorajoitettujen siltojen määrät siltatyyppin mukaan on esitetty luvun 6.1 taulukossa 28. Kantavuudeltaan nykyliikenteen vaatimukset täyttäviä siltoja on vähäliikenteisillä teillä yhteensä n. 5900 kpl.

7.2.2 Jatkotoimenpiteet

Sillat, joiden kantavuus on riittävä, eivät tarvitse erityisiä jatkotoimenpiteitä; vain normaalin hoidon ja ylläpidon.

Tehostetussa tarkkailussa oleville silloille jatkotoimenpiteenä olisi kohdan 7.1.6 mukainen yleistarkastus, jossa määritetään uudelleen tehostetun tarkkailun tarve ja toteuttaminen. Muuten tehostetussa tarkkailussa olevat sillat vaativat vain normaalin hoidon ja ylläpidon, koska tehostettu tarkkailu yleensä ajan myötä poistetaan, kun sillan todetaan kestävän liikennekuormien aiheuttamat rasitukset.

Painorajoitettujen siltojen jatkotoimenpide on loppuun käyttö ja sillan uusiminen tietyllä aikavälillä. Tässä oletetaan, että kaikki painorajoitetut sillat uusitaan 20 vuoden kuluessa.

7.3 Kustannusten arviointi

7.3.1 Yleistä

Vähäliikenteisille silloille arvioidaan jatkotoimenpide- sekä hoito- ja ylläpito-kustannukset 5, 10 ja 20 vuoden aikajaksoille. Tässä tutkimuksessa määritettyjen kantavuudeltaan puutteellisten siltojen (ei painorajoitusta eikä tehostettua tarkkailua) toimenpideryhmien 1 – 3 toimenpiteet oletetaan kaikki tehtäväksi 5 vuoden sisällä, lukuun ottamatta toimenpideryhmän 1 sillan peruskorjausta. Toimenpideryhmän 4 (loppuun käyttö ja uusiminen) toimenpiteet oletetaan tehdyksi 20 vuoden sisällä. Myös painorajoitetut sillat oletetaan uusittavan 20 vuoden sisällä. Kustannusten laskennassa ei huomioida kor-koa.

Siltojen normaalin hoidon ja ylläpidon vuotuiset kustannukset on esitetty taulukossa 29 siltaryhmän (kantavuuspuutteen) mukaan. Normaali hoito ja ylläpito sisältää hoidon ja tarkastukset sekä normaalit ylläpitokorjaukset. Kantavuudeltaan puutteellisten siltojen vuotuinen hoito ja ylläpito on halvempaa kuin kantavuudeltaan riittävien siltojen, koska niille ei juurikaan ylläpitokorjauksia tehdä peruskorjausta tai uusimista odotellessa. Tehostetun tarkkailun kustannukset on huomioitu sen piiriin kuuluvilla silloilla.

Erillisten jatkotoimenpiteiden yksikköhintoina käytetään taulukon 30 mukaisia arvioita. Taulukoiden 29 ja 30 kustannukset ovat suuruusluokka-arvioita, eivät absoluuttisia totuuksia. Arviot on saatu siltojen hoidon ja ylläpidon toimintalinjoista sekä käytännön kokemuksesta.

Taulukko 29. Siltojen normaalin hoidon ja ylläpidon vuotuiset kustannukset.

Siltaryhmä (kantavuuspuute)	kustannus	yksikkö
Ei kantavuuspuutetta	1000	€ / vuosi / silta
Kantavuuspuute, mutta ei painorajoitusta eikä tehostettua tarkkailua	500	€ / vuosi / silta
Painorajoitetut sillat	500	€ / vuosi / silta
Tehostetussa tarkkailussa olevat sillat	750	€ / vuosi / silta

Taulukko 30. Erillisten toimenpiteiden yksikkökustannusarviot.

Toimenpide	kustannus	yksikkö
Kantavuuden tarkistus	500 - 1000	€ / kpl
Erikoistarkastus	2000	€ / kpl
Pelkän alusrakenteen erikoistarkastus	1000	€ / kpl
Koko sillan peruskorjaus	300 - 450	€ / kansi-m ²
Pelkän alusrakenteen peruskorjaus	5000	€ / maatuki
Koko sillan uusiminen	900 - 1100	€ / kansi-m ²
Pelkän päällysrakenteen uusiminen	500 - 650	€ / kansi-m ²
Tehostettu tarkkailu	200	€ / kpl

Koko sillan peruskorjauksen ja koko sillan uusimisen hinta riippuu siltapituudesta; lyhyellä sillalla alusrakenteiden osuus on huomattava. Käytetään tässä lyhyen sillan rajana 15 metriä. Sillan peruskorjauksen kustannuksena käytetään suolaamattomien teiden silloille määritettyä hintaa. Pelkän päällysrakenteen uusimisessa huomioidaan sillan tyyppi, betonilaatalle käytetään hintaa 500 € / kansi-m², betonipalkkisillalle hintaa 600 € / kansi-m² sekä teräs- ja puupalkkisillalle 650 € / kansi-m².

Tehostetun tarkkailun kustannukset pitää laskea erikseen toimenpideryhmän 4 (loppuun käyttö ja uusiminen) silloille, koska sitä ei ole huomioitu vuotuisissa ylläpitokustannuksissa niillä kantavuudeltaan puutteellisilla silloilla, jotka eivät ole painorajoitettuja tai tehostetussa tarkkailussa. Tehostetun tarkkailun kustannukset lasketaan siten, että ensimmäisenä vuonna tehdään 3 tarkastusta, toisena vuonna 2 tarkastusta ja muina vuosina yksi tarkastus.

7.3.2 Toimenpidekustannukset tässä tutkimuksessa määritetyille kantavuudeltaan puutteellisille silloille

Taulukossa 31 on esitetty suuruusluokka-arvio jatkotoimenpiteiden kustannuksista niille kantavuudeltaan puutteellisille silloille, jotka eivät ole painorajoitettuja tai tehostetussa tarkkailussa. Taulukossa on viiden vuoden sisällä syntyvät kustannukset ja myöhemmin syntyvät kustannukset eritelty omiin sarakkeisiinsa. Lisäksi on laskettu yhteishinta kaikille kustannuksille siinä tapauksessa, että kaikille kantavuudeltaan puutteellisille silloille tehtäisiin kaikki niille määritellyt toimenpiteet. Esimerkiksi toimenpideryhmään 1 määritellylle sillalle ei välttämättä tarvitsisi tehdä muuta kuin tarkastukset, jos se todetaan kantavuudeltaan riittäväksi ja silta on kunnoltaan hyvä. Jos taas silta todetaan kantavuudeltaan riittämättömäksi, pitää siltaa vahventaa peruskorjauksen yhteydessä tai siirtää silta muihin toimenpideryhmiin (päällysrakenteen uusiminen tai loppuun käyttö).

Taulukko 31. Tässä tutkimuksessa määritettyjen kantavuudeltaan puutteellisten siltojen (ei painorajoitetut eikä tehostettu tarkkailu) jatkotoimenpiteiden kustannukset 5 vuoden sisällä ja myöhemmin siltatyypeittäin. Kustannukset eivät sisällä korkoa.

Siltatyyppi	Kustannusajanjakso		yhteensä	
	0 – 5 v	5 – 20 v		
Betonilaatat	351 000	752 000	1 103 000	€
Muu betonisilta	167 000	489 000	656 000	€
Terässillat	1 943 000	3 065 000	5 008 000	€
Puusillat	172 000	1 382 000	1 554 000	€
Kustannukset yhteensä:	2 633 000	5 688 000	8 321 000	€

Taulukossa 32 on esitetty tässä tutkimuksessa määritettyjen kantavuudeltaan puutteellisten siltojen määrät ja kustannukset toimenpideryhmittäin ja siltatyypeittäin. Lisäksi liitteessä E on esitetty samat taulukot tiepiireittäin. Toimenpideryhmä 3 eli vahventaminen ei ole kustannuksissa mukana, koska yhtään siltaa ei ehdotettu suoraan vahvennettavaksi. Taulukon 32 kustannukset eivät sisällä niitä kantavuudeltaan puutteellisia siltoja, joiden suunnittelukuorma ei ollut tiedossa, koska niiden määrä on osittain vielä arvio ja niitä ei ole sijoitettu toimenpideryhmiin. Taulukossa 31 nämä sillat ovat mukana suuruusluokka-arviona.

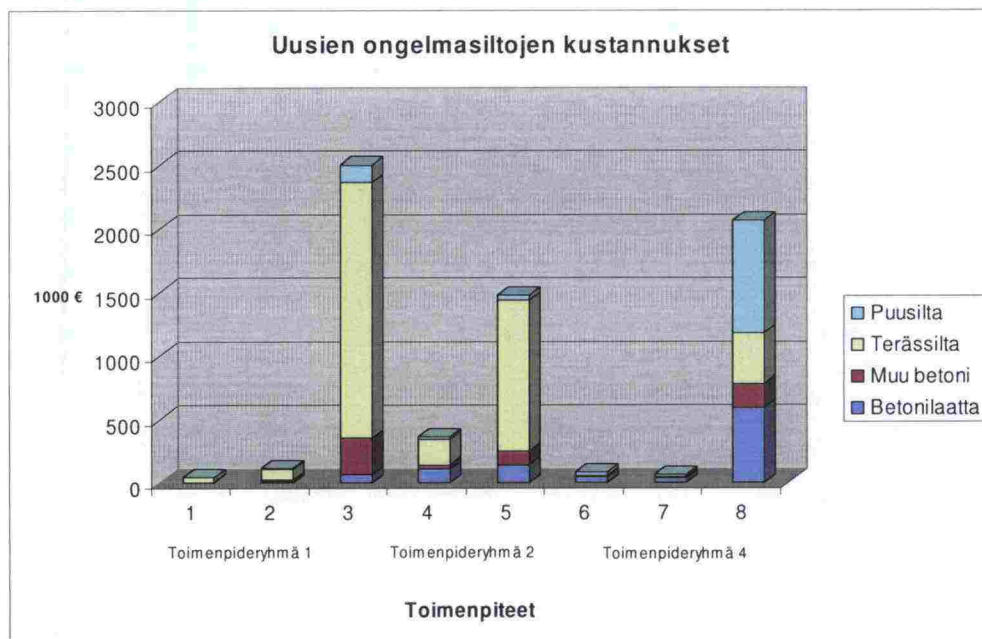
Taulukko 32. Tässä tutkimuksessa määritettyjen kantavuudeltaan puutteellisten siltojen määrät ja toimenpiteiden kustannukset toimenpideryhmittäin ja siltatyypeittäin. Kustannusten yksikkö = 1 €.

Toimenpideryhmä 1				
Siltatyyppi	Määrä	Erikois- tarkastus	Kantavuus- laskenta	Peruskorjaus (arvio)
Betonilaatta	5	3 800	10 000	61 000
Muu betonisilta	6	4 500	12 000	294 000
Terässilta	43	32 300	86 000	2 008 000
Puusilta	5	3 800	10 000	143 000
Yhteensä	59	44 400	118 000	2 506 000
Kaikki yhteensä:				2 668 000

Toimenpideryhmä 2				
Siltatyyppi	Määrä	Päällysrak- uusiminen	Peruskorjaus (alusrak. ym.)	Yhteensä
Betonilaatta	10	142 000	110 000	252 000
Muu betonisilta	3	107 000	33 000	140 000
Terässilta	18	1 191 000	198 000	1 389 000
Puusilta	2	38 000	22 000	60 000
Yhteensä	33	1 478 000	363 000	1 841 000
Kaikki yhteensä:				3 682 000

Toimenpideryhmä 4				
Siltatyyppi	Määrä	Uusiminen ja loppuunk.	Erikois- tarkastus	Tehostettu tarkkailu
Betonilaatta	21	588 000	42 000	34 000
Muu betonisilta	3	195 000	6 000	5 000
Terässilta	4	394 000	8 000	6 000
Puusilta	15	887 000	30 000	24 000
Yhteensä	43	2 064 000	86 000	69 000
Kaikki yhteensä:				2 219 000

Taulukossa 34 on esitetty tässä tutkimuksessa määritettyjen kantavuudeltaan puutteellisten siltojen kiertotiekustannukset eri ajanjaksoille, jos kantavuuspuutteet poistuisivat tasaisesti viiden vuoden aikana. Kiertotien kustannuksena on käytetty 1,5 € / km. Kiertotien pituutta ja raskaiden ajoneuvojen keskivuorokausiliikennettä ei ole ilmoitettu läheskään kaikista silloista, joten kiertotiekustannukset ovat vain yleisiä arvioita; ne eivät suoraan kerro yksittäisten siltojen tilannetta. Taulukossa 35 on esitetty vastaavat kiertotiekustannukset, jos siltojen kantavuuspuutteet poistettaisiin tasaisesti kymmenen vuoden aikana.



Kuva 5. Tässä tutkimuksessa määritettyjen kantavuudeltaan puutteellisten siltöjen toimenpidekustannukset siltatyypeittäin. Toimenpiteiden numerot on esitetty taulukossa 33.

Taulukko 33. Tässä tutkimuksessa määritettyjen kantavuudeltaan puutteellisten siltöjen toimenpiteiden numerot liittyen kuvaan 5.

Toimenpide	Toimenpideryhmä	Selite
1	1	Erikoistarkastus
2		Kantavuuslaskenta
3		Peruskorjaus
4	2	Peruskorjaus
5		Päällysrakenteen uusiminen
6	4	Erikoistarkastus
7		Tehostettu tarkkailu
8		Sillan uusiminen

Taulukko 34. Tässä tutkimuksessa määritettyjen kantavuudeltaan puutteellisten siltojen kiertotiekustannukset 5, 10 ja 20 vuoden aikajaksoille, jos siltojen kantavuuspuutteet poistettaisiin 5 vuoden aikana.

Toimenpideryhmä	Kustannusajanjakso			
	5 v	10 v	20 v	
1	5,0	5,0	5,0	milj. €
2	2,6	2,6	2,6	milj. €
4	3,6	3,6	3,6	milj. €
Yhteensä:	11,2	11,2	11,2	milj. €

Taulukko 35. Tässä tutkimuksessa määritettyjen kantavuudeltaan puutteellisten siltojen kiertotiekustannukset 5, 10 ja 20 vuoden aikajaksoille, jos siltojen kantavuuspuutteet poistettaisiin 10 vuoden aikana.

Toimenpideryhmä	Kustannusajanjakso			
	5 v	10 v	20 v	
1	8,7	11,2	11,2	milj. €
2	4,5	5,8	5,8	milj. €
4	6,4	8,2	8,2	milj. €
Yhteensä:	19,6	25,2	25,2	milj. €

Kiertotiekustannusten perusteella olisi varsin järkevää ryhtyä kantavuuden parantamistoimenpiteisiin mahdollisimman nopeasti.

7.3.3 Ylläpito- ja toimenpidekustannukset kaikille vähäliikenteisille silloille

Taulukossa 36 on esitetty painorajoitettujen siltojen uusimis- ja kiertotiekustannukset eri pituisille ajanjaksoille, jos sillat uusittaisiin tasaisesti 20 vuoden aikana. Taulukossa 37 ovat vastaavat kustannukset siinä tapauksessa, että sillat uusittaisiin 10 vuoden aikana. Kiertotien kustannuksena on käytetty 1,5 € / km. Kiertotien pituutta ja raskaiden ajoneuvojen keskivuorokausiliikennettä ei ole kaikista painorajoitetuistakaan silloista ilmoitettu, joten kiertotiekustannukset ovat nytkin yleisiä arvioita, eivät suoraan sovellettavissa yksittäisiin siltoihin. Taulukoista 36 ja 37 nähdään, että kiertotien kustannukset ovat varsin suuria. Kiertotiekustannusten vuoksi olisi teoreettisesti laskien kannattavaa uusia kaikki painorajoitetut sillat 10 vuoden aikana.

Taulukko 36. Painorajoitettujen siltojen uusimis- ja kiertotiekustannukset 5, 10 ja 20 vuoden aikajaksoille, jos sillat uusitaan tasaisesti 20 vuoden aikana.

	Kustannus eri ajanjaksoille			
	5 v	10 v	20 v	
Uusimiskustannus	7,8	15,5	31,0	milj. €
Kiertotiekustannus	21,1	36,0	47,1	milj. €
Yhteensä	28,8	51,5	78,1	milj. €

Taulukko 37. Painorajoitettujen siltojen uusimis- ja kiertotiekustannukset 5, 10 ja 20 vuoden aikajaksoille, jos sillat uusitaan tasaisesti 10 vuoden aikana.

	Kustannus eri ajanjaksoille			
	5 v	10 v	20 v	
Uusimiskustannus	15,5	31,0	31,0	milj. €
Kiertotiekustannus	17,4	22,3	22,3	milj. €
Yhteensä	32,9	53,3	53,3	milj. €

Taulukossa 38 on esitetty kaikkien vähäliikenteisten siltojen normaalin hoidon ja ylläpidon kustannukset ja taulukossa 39 vähäliikenteisten siltojen ne toimenpidekustannukset, joiden jälkeen ei tarvita painorajoituksia. Kustannukset on laskettu eri pituisille ajanjaksoille ja lisäksi on ilmoitettu kustannukset vuotta kohti. Hoidon ja ylläpidon kustannuksissa ei ole huomioitu kantavuudeltaan riittävien siltojen kuntoa.

Taulukossa 40 on esitetty vähäliikenteisten siltojen kokonaiskustannukset (toimenpiteet kantavuuspuutteiden poistamiseksi sekä hoito ja ylläpito) laskettuna eri pituisille ajanjaksoille. Taulukoissa 38 - 40 ei ole mukana kiertotiekustannuksia. Taulukoissa 38 - 40 "muut ongelmasillat" tarkoittaa tässä tutkimuksessa määritettyjä siltoja, joissa on kantavuuspuutteita, mutta ei vielä painorajoitusta eikä tehostettua tarkkailua.

Taulukko 38. Vähäliikenteisten siltojen hoito- ja ylläpitokustannukset 5, 10 ja 20 vuoden aikajaksoille (eivät sisällä kiertotiekustannuksia).

	Kustannus eri ajanjaksoille			
	5 v	10 v	20 v	
Painorajoitetut	0,4	0,7	0,9	milj. €
Tehostettu tarkkailu	0,2	0,5	1,0	milj. €
Muut ongelmasillat	0,3	0,5	0,7	milj. €
Ei kantavuuspuutetta	29,6	59,1	118,2	milj. €
Yhteensä	30,5	60,8	120,7	milj. €
Kustannus per vuosi	6,1	6,1	6,0	milj. €

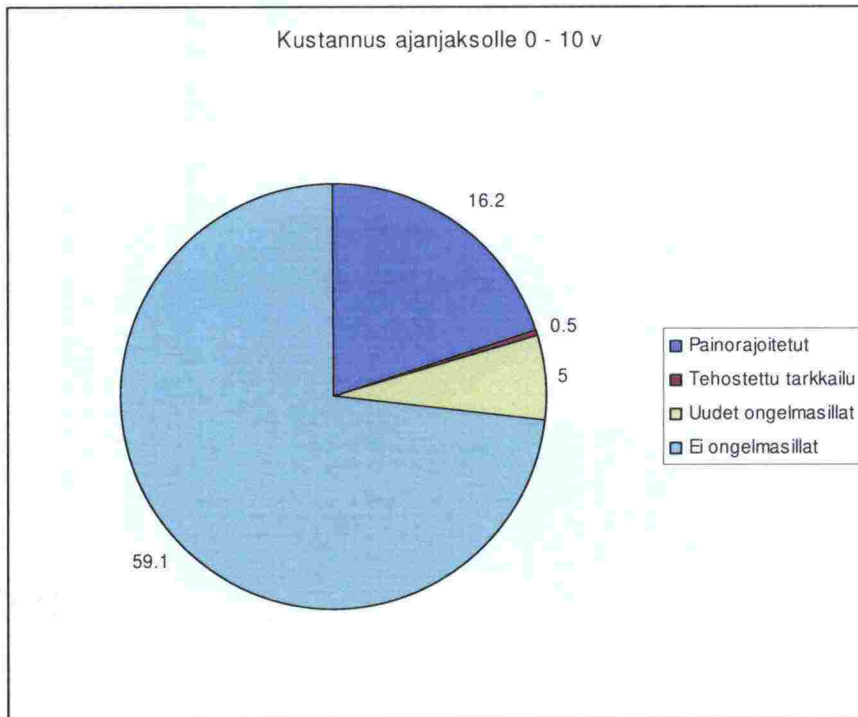
Taulukko 39. Vähäliikenteisten siltojen kantavuuspuutteiden poistamiseen tarvittavien toimenpiteiden kustannukset 5, 10 ja 20 vuoden aikajaksoille (eivät sisällä kiertotiekustannuksia).

	Kustannus eri ajanjaksoille			
	5 v	10 v	20 v	
Painorajoitetut	7,8	15,5	31,0	milj. €
Tehostettu tarkkailu	0,1	0,1	0,1	milj. €
Muut ongelmasillat	2,6	4,5	8,3	milj. €
Ei kantavuuspuutetta	0	0	0	milj. €
Yhteensä	10,5	20,1	39,4	milj. €
Kustannus per vuosi	2,1	2,0	2,0	milj. €

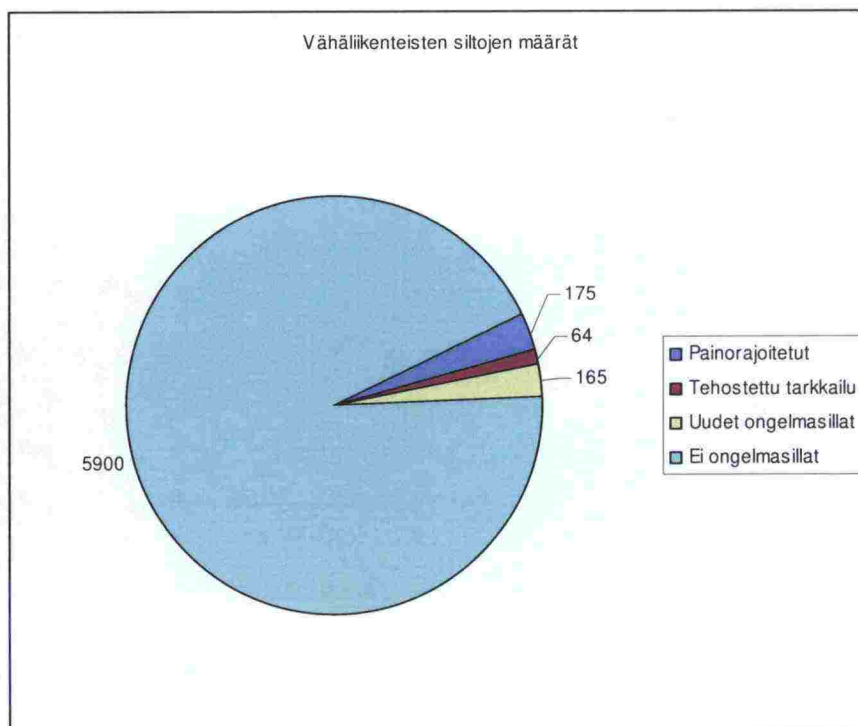
Taulukko 40. Vähäliikenteisten siltojen yhdistetyt ylläpito- ja toimenpidekustannukset 5, 10 ja 20 vuoden aikajaksoille (eivät sisällä kiertotiekustannuksia).

	Kustannus eri ajanjaksoille			
	5 v	10 v	20 v	
Painorajoitetut	8,1	16,2	31,9	milj. €
Tehostettu tarkkailu	0,2	0,5	1,0	milj. €
Muut ongelmasillat	2,9	5,0	9,0	milj. €
Ei kantavuuspuutetta	29,6	59,1	118,2	milj. €
Yhteensä	40,8	80,8	160,1	milj. €
Kustannus per vuosi	8,2	8,1	8,0	milj. €

Kuvassa 6 on esitetty kaikkien vähäliikenteisten siltojen hoito-, ylläpito- ja toimenpidekustannukset laskettuna 10 vuoden aikajaksolle siten, että kaikki kantavuudeltaan puutteelliset sillat poistuisivat 20 vuoden aikana. Kuvassa 7 on esitetty vähäliikenteisten siltojen määrät. Kuvista nähdään, että painorajoitetut ja tässä tutkimuksessa määritetyt kantavuudeltaan puutteelliset sillat ovat kustannuksiltaan suuria verrattuna siltojen määrään. Tehostetun tarkkailun sillat sitä vastoin ovat edullisia määräänsä nähden.



Kuva 6. Kaikkien vähäliikenteisten tiesiltojen hoito-, ylläpito- ja toimenpidekulut [milj.€].



Kuva 7. Vähäliikenteisten tiesiltojen määrät.

8 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Tässä tutkimuksessa selvitettiin kantavuudeltaan puutteelliset vähäliikenteisten teiden sillat ja laadittiin silloille jatkotoimenpide-ehdotukset sekä arvioitiin näiden toimenpiteiden kustannukset. Lisäksi arvioitiin kaikkien vähäliikenteisten siltojen hoidon ja ylläpidon kustannukset eri pituisille ajanjaksoille sekä kustannukset kantavuuspuutteiden poistamiselle. Tutkimuksen lähtökohana oli selvityksen *Vähäliikenteisten siltojen taloudellinen ja turvallinen ylläpito, vaihe 1* perusteella noin 460 selvitettävää, kantavuudeltaan puutteellista painorajoittamatonta, siltaa. Yhteensä vähäliikenteisillä teillä on noin 6200 siltaa.

Tämän tutkimuksen perusteella kantavuudeltaan puutteellisia siltoja on vähäliikenteisillä teillä yhteensä noin 340 kappaletta, joista painorajoitettuna on 175 siltaa. Muut 165 siltaa ovat tässä tutkimuksessa selvitettyjä kantavuudeltaan puutteellisia siltoja, jotka on määritetty Tiehallinnossa olevien siltatietojen perusteella ja arvioimalla sillan todellista kantavuustarvetta laskennallisesti. Ongelmasiltojen määrä väheni alkuperäiseen nähden tutkimuksen perusteella lähes kolmella sadalla eli noin 65 prosenttia, painorajoitetut sillat huomioon ottaen noin 50 prosenttia. Painorajoitettujen siltojen määrää ei voida vähentää tämän tutkimuksen perusteella, koska niiden kantavuutta ei erikseen tutkittu.

Siltojen luotettavuuden laskentaan kehitettiin tilastolaskentaan perustuva menetelmä, joka huomioi todelliset liikennemäärät sekä akseli- ja telipainot tai ajoneuvojen kokonaispainot. Lisäksi pitkille silloille, joille mahtuu yksi tai useampia ajoneuvoyhdistelmiä, luotiin kuormamalli, joka huomioi ajoneuvon tyypin ja massan lisäksi todellisen liikenteen jonojen ja vastaan tulevien ajoneuvojen mahdollisuuden. Eri siltapituuksille määritettiin kerran sadassa vuodessa esiintyvä kuormitus ja tutkittiin, millä todennäköisyydellä silta menettää kantavuutensa tälle kuormalle. Näiden todennäköisyyksien avulla määritettiin vähäliikenteisille silloille vaadittavat kantavuuslaskentaohjeen mukaisen kuorman osavarmuuskertoimet, jolloin laskenta palautui tavanomaiseksi kantavuuslaskennaksi osavarmuuskertoimilla.

Luotettavuuslaskennan lisäksi pitkien siltojen kuormamallista saatuja kerran sadassa vuodessa esiintyviä mitoituskuormia verrattiin kantavuuslaskentaohjeen kuormiin. Tulos oli, että kun mitoittavana on kaksi ajoneuvoa, kantavuuslaskentaohjeen mukainen kuorma antaa lähes samat tulokset kuin tässä tutkimuksessa määritetty mitoituskuorma. Yhden ajoneuvon ollessa mitoittava on kantavuuslaskentaohjeen mukainen varmuuskerroin liian pieni.

Määritetyistä kustannuksista voidaan todeta, että kaikkien vähäliikenteisten siltojen hoito- ja ylläpitokulut ovat huomattavasti suuremmat kuin kantavuuspuutteiden poistamiseen tarvittavien toimenpiteiden kustannukset. Lisäksi on huomioitava, että kaikille kantavuudeltaan puutteellisille silloille ei todennäköisesti tarvitse tehdä kaikkia jatkotoimenpiteitä, jolloin niille lasketut kustannukset vielä pienenevät. Useille silloille riittää niille tehtyjen korjaus- tai uusimistoimenpiteiden selvittäminen ja tarkistettujen tietojen perusteella tehty kantavuustarkastelu. Osa silloista voidaan käyttää hallitusti loppuun tehostetun tarkkailun alaisena asettamatta sillalle painorajoitusta.

Taloudellisen ja turvallisen ylläpidon kannalta kiireellisimmät toimenpiteet tässä tutkimuksessa selvitetuille kantavuudeltaan puutteellisille silloille ovat

kantavuuden tarkistus ja parhaalla mahdollisella asiantuntemuksella tehty yleistarkastus, jossa määritetään tehostetun tarkkailun tarve ja tarkkailussa erityisesti seurattavat kriittiset rakenneosat. Painorajoitettujen siltojen tehostetun tarkkailun tarve ja sisältö tulee tarkistaa samalla tavalla.

Kaikkien kantavuuspuutteiden poisto vähäliikenteisiltä teiltä maksaisi n. 40 milj. euroa eli jos kantavuuspuutteet poistettaisiin 20 vuoden aikana, olisi vuotuinen kustannus n. 2 milj. euroa. Ns. kevyiden toimenpiteiden, eli kantavuuden tarkistusten ja yleistarkastusten kokonaiskustannus olisi n. 0,5 milj. euroa eli murto-osa kaikista toimenpidekustannuksista. Kevyet toimenpiteet ovat kuitenkin monelle sillalle todennäköisesti riittäviä toimenpiteitä. Vähäliikenteisten siltojen vuotuiset ylläpitokulut ovat noin 6 milj. euroa.

Kun verrataan ongelmasiltojen aiheuttamia kiertotiekustannuksia silloille tarpeellisten ylläpitotoimenpiteiden kustannuksiin, nähdään kiertotiekustannusten olevan jo lyhyellä aikavälillä (5–10 vuotta) suuremmat kuin kaikki toimenpidekustannukset. Teoreettisen kiertotiekustannustarkastelun perusteella kantavuusongelmien poistaminen on siis taloudellisesti kannattavaa. Varsinkin ns. kevyet toimenpiteet kannattaisi tehdä nopeasti.

9 VIITELUETTELO

- /1/ Akselimassatutkimus 1998-1999. Helsinki. Tielaitos 2000. Tielaitoksen selvityksiä 6/2000. ISBN 951-726-614-6. TIEL 3200598.
- /2/ Aallotetut teräspuutket. Helsinki. Tiehallinto 1997. ISBN 951-726-068-7. TIEL 2172501.
- /3/ Betonirakenteiden liimausvahventamisohteet. Helsinki. Tiehallinto 2005. ISBN 951-803-314-5. TIEH 2000013-04.
- /4/ Jaakkola, A. Vähäliikenteisten tiesiltojen kantavuuden tilastollinen tarkastelu. Diplomityö, Tampereen teknillinen yliopisto, 2005.
- /5/ RIL 53, Betoninormit 1967. Vammala. Suomen rakennusinsinöörien liitto 1968.
- /6/ Rissanen, T. Liikennekuorman tilastollinen malli sovellettuna erityisesti liittopalkkisiltoihin. Diplomityö, Teknillinen Korkeakoulu, Espoo 2001.
- /7/ Siltojen kantavuuden laskentaohje. Helsinki. Tiehallinto 2000. ISBN 951-47-6859-0. TIEL 2170005.
- /8/ Siltojen koekuormitukset vuosina 1994-2003. Helsinki. Tiehallinto 2005. Julkaisematon.
- /9/ Vähäliikenteisten teiden siltojen taloudellinen ja turvallinen ylläpito, vaihe 1. Helsinki. Tiehallinto 2003. Julkaisematon.

LIITE A. Pitkien siltojen kuormamallin jakaumat.

Kuvissa A2 – A8 on esitetty LAM-tiedostojen avulla muodostetut jakaumat (ajoneuvojen etäisyydet, muun merkitsevän ajoneuvon esiintymistodennäköisyydet ja muun merkitsevän ajoneuvon tyyppi).

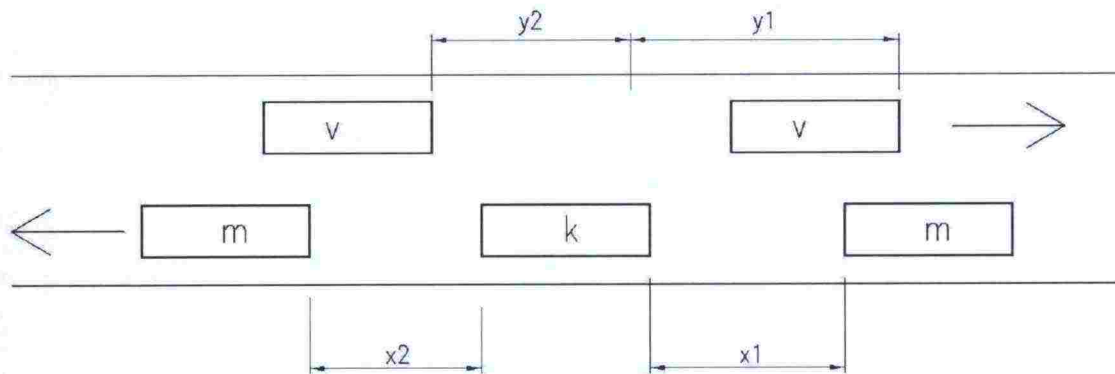
Ajoneuvojen etäisyysjakaumissa käytetyt merkinnät (katso kuva A1):

x_1 = määräävän ajoneuvon takana ajavan muun merkitsevän ajoneuvon etäisyys määräävään ajoneuvoon

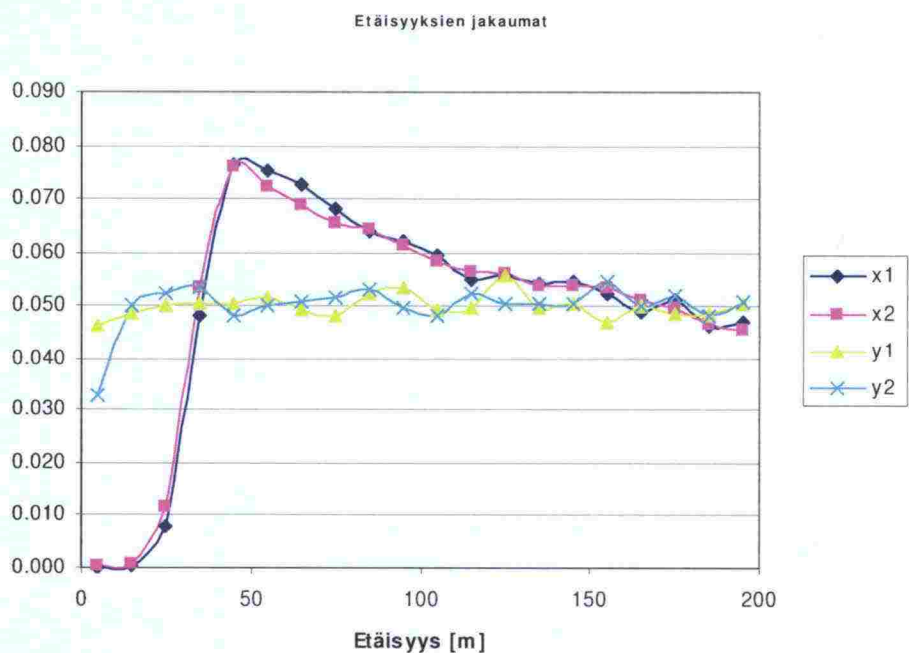
x_2 = määräävän ajoneuvon edellä ajavan muun merkitsevän ajoneuvon etäisyys määräävään ajoneuvoon

y_1 = määräävää ajoneuvoa vastaan tulleen (jo kohdanneen) muun merkitsevän ajoneuvon etäisyys määräävään ajoneuvoon

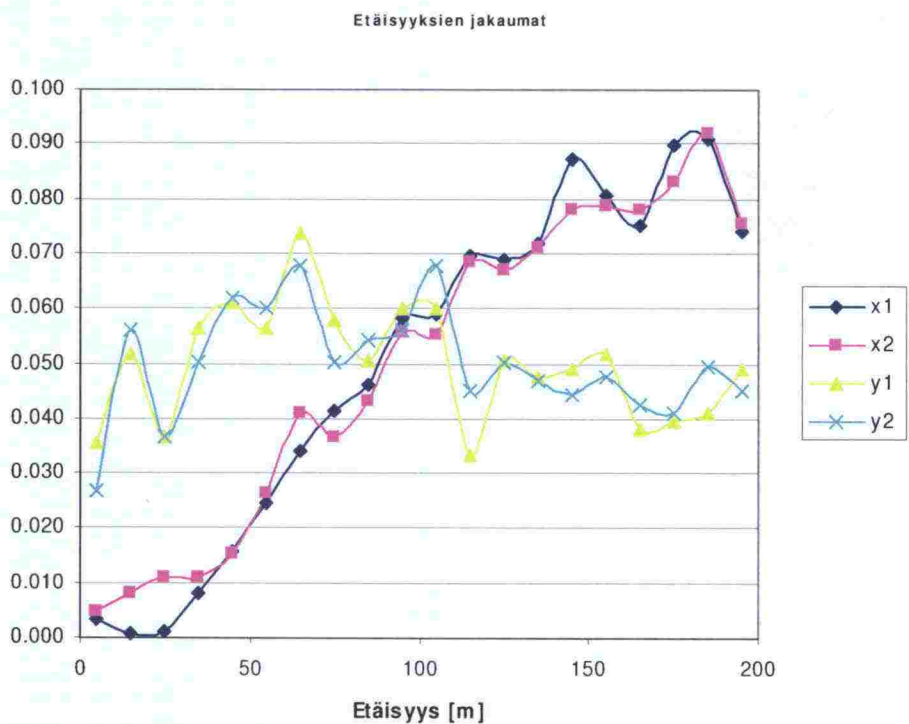
y_2 = määräävää ajoneuvoa vastaan tulevan (ei vielä kohdannut) muun merkitsevän ajoneuvon etäisyys määräävään ajoneuvoon



Kuva A2. Periaatekuva kuormamallista. Nuolet kuvaavat ajosuuntaa. k = merkitsevä ajoneuvo, m = edellä tai perässä ajava muu merkitsevä ajoneuvo ja v = vastaan tuleva muu merkitsevä ajoneuvo.



Kuva A2. Ajoneuvojen etäisyysjakaumat rajanylityspaikalla sijaitsevalla LAM-pisteellä.



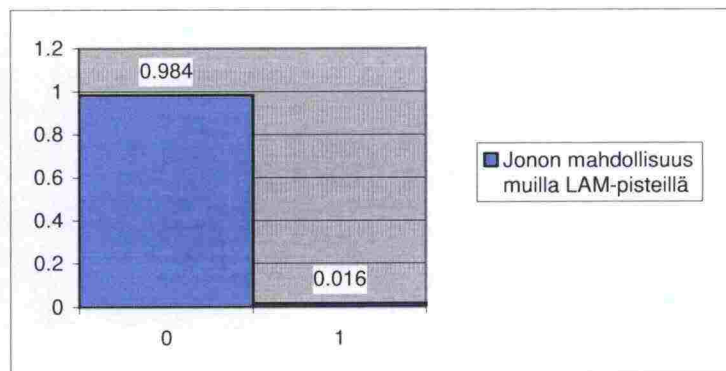
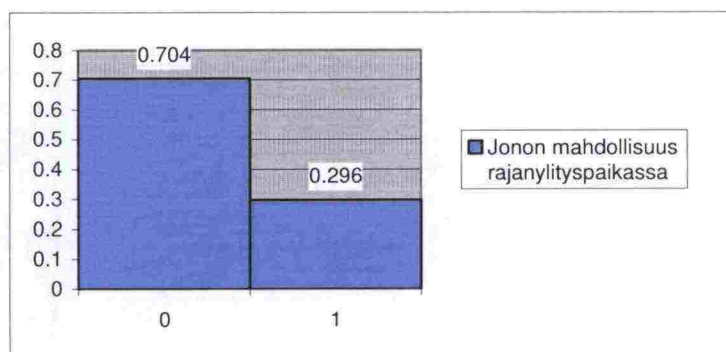
Kuva A3. Ajoneuvojen etäisyysjakaumat muilla LAM-pisteillä.

Seuraavissa jonon ja vastaantulevan ajoneuvon todennäköisyysjakaumissa on voimassa merkinnät:

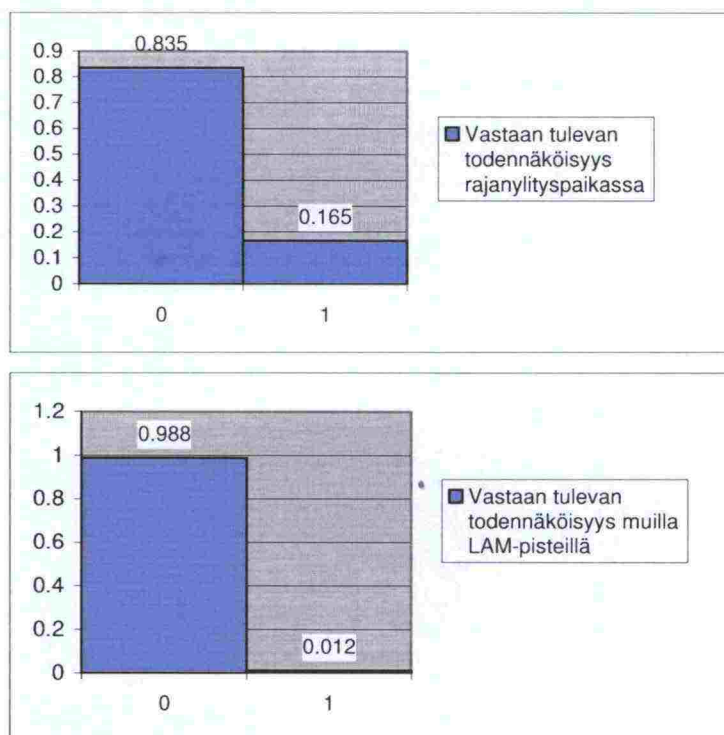
0 = alle 200 metrin etäisyydellä määräävästä ajoneuvosta ei ole muita merkitseviä ajoneuvoja

1 = alle 200 metrin etäisyydellä määräävästä ajoneuvosta on muu merkitsevä ajoneuvo

Tässä jonon mahdollisuudella tarkoitetaan sitä, että määräävän ajoneuvon edessä tai takana alle 200 metrin etäisyydellä on muu merkitsevä ajoneuvo.



Kuva A4. Jonon todennäköisyys eri LAM-pisteillä.



Kuva A5. Vastaan tulevan ajoneuvon todennäköisyys eri LAM-pisteillä.

Vastaan tulevan todennäköisyydellä tarkoitetaan sitä, että määräävää ajoneuvoa on tulossa tai on jo tullut vastaan muu merkitsevä ajoneuvo, joka on alle 200 metrin etäisyydellä määräävästä ajoneuvosta.

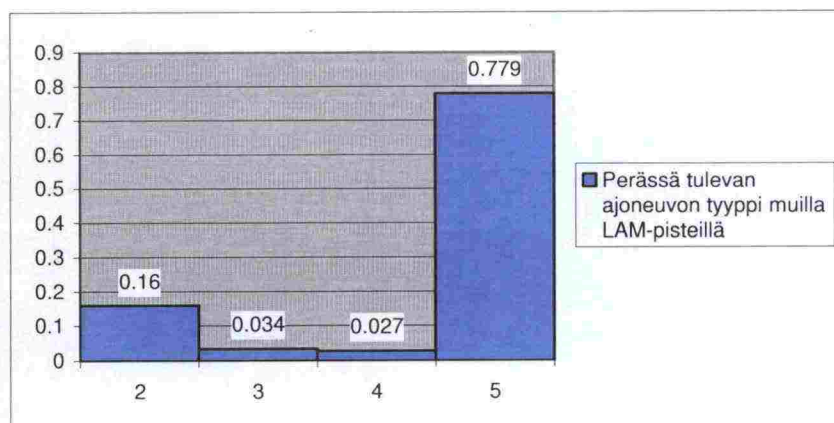
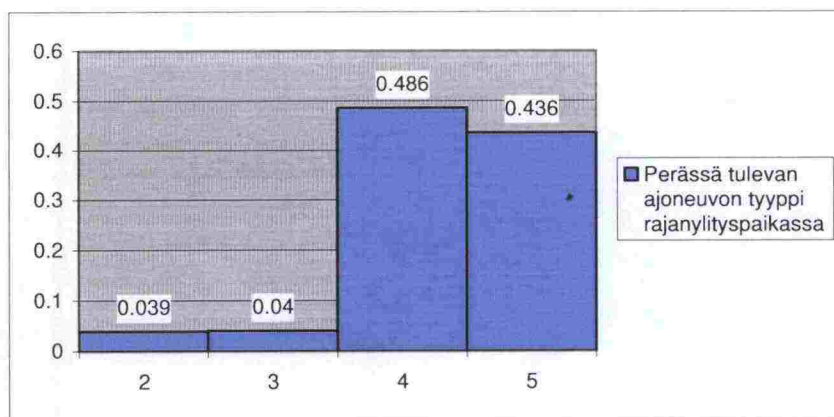
Seuraavissa muun merkitsevän ajoneuvon tyyppijakaumissa on voimassa merkinnät:

2 = Kuorma-auto ilman perävaunua (KAIP)

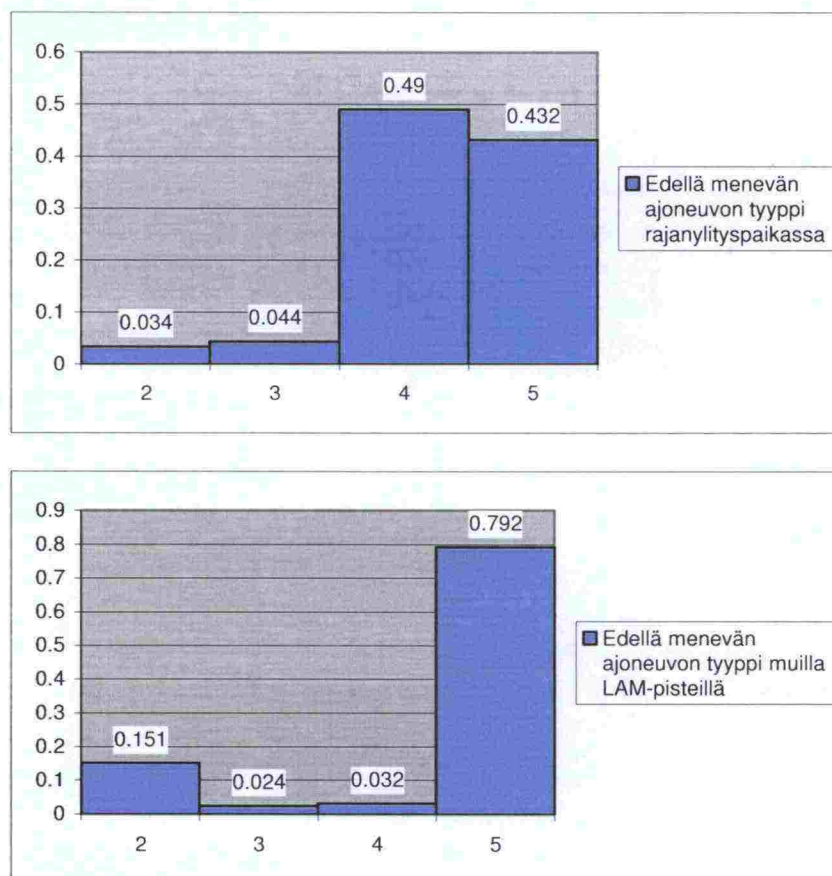
3 = Linja-auto (LA)

4 = Kuorma-auto ja puoliperävaunu (KAPP)

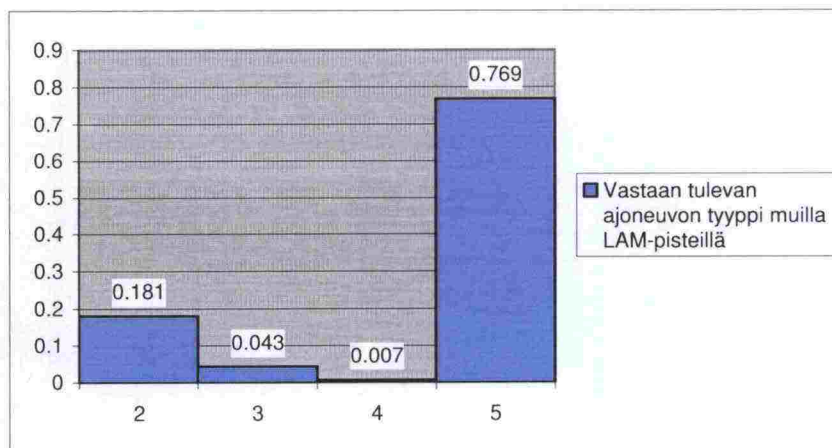
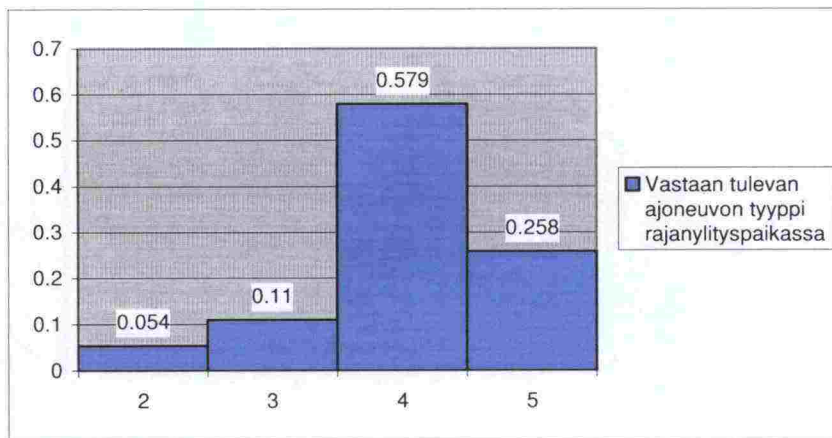
5 = Kuorma-auto ja varsinainen perävaunu (KAVP)



Kuva A6. Määräävän ajoneuvon perässä ajavan ajoneuvon tyyppijakauma eri LAM-pisteillä.



Kuva A7. Määräävän ajoneuvon edellä ajavan ajoneuvon tyyppijakauma eri LAM-pisteillä.



Kuva A8. Määräävää ajoneuvoa vastaan tulevan ajoneuvon tyyppijakauma eri LAM-pisteillä.

LIITE B. Lyhyiden siltojen osavarmuuskertoimet AA90-kuormalle. Suluissa on esitetty kyseisen siltatyyppin määrät (vain kantavuudeltaan puutteellisten siltojen kohdalla).

Taulukko B1. Betonilaattasiltojen osavarmuuskertoimet AA90-kuormalle. Taulukossa 200+200 tai 400+400 = laatan ja sorakerroksen paksuus [mm].

	Jännemitta			
	2	4	6	8
suunnittelukuorma	Betonilaattasilta 200+200, HL=5			
11	0,59 (0)	0,57 (0)	0,68 (0)	0,73 (0)
12	0,93 (8)	0,67 (6)	0,74 (5)	0,78 (0)
13	1,26	0,77 (4)	0,81 (4)	0,83 (0)
14	1,26	1,01	0,97 (0)	0,96 (0)
15	1,81	1,39	1,24	1,2
16	2,1	1,59	1,39	1,33
vaadittu kerroin =	1	1	1	1
suunnittelukuorma	Betonilaattasilta 200+200, HL=6			
11	0,6 (0)	0,64 (0)	0,74 (0)	0,84 (0)
12	0,94 (7)	0,76 (6)	0,84 (4)	0,93 (1)
13	1,28	0,89 (7)	0,93 (5)	1,02
14	1,28	1,18	1,16	1,21
15	1,85	1,66	1,56	1,61
16	2,14	1,91	1,77	1,82
vaadittu kerroin =	1	1	1	1
suunnittelukuorma	Betonilaattasilta 400+400, HL=5			
11	0,72 (0)	0,78 (0)	0,85 (0)	0,92 (0)
12	1	0,86 (2)	0,90 (2)	0,96 (0)
13	1,27	0,94 (2)	0,95 (0)	1
14	1,27	1,13	1,07	1,09
15	1,72	1,43	1,28	1,28
16	1,95	1,59	1,39	1,37
vaadittu kerroin =	1	1	1	1
suunnittelukuorma	Betonilaattasilta 400+400, HL=6			
11	0,76 (0)	0,85 (0)	0,93 (0)	1,02
12	1,06	0,96 (2)	1	1,09
13	1,36	1,07	1,08	1,16
14	1,36	1,31	1,26	1,31
15	1,87	1,71	1,58	1,61
16	2,13	1,93	1,76	1,78
vaadittu kerroin =	1	1	1	1

Taulukko B2. Betonipalkkisiltojen osavarmuuskertoimet AA90-kuormalle.

suunnittelukuorma	Jänneväli			
	4	6	8	10
	Betonipalkki, k/k = 2000, HL = 5			
11	0,56	0,59	0,71	0,80
12	0,70 (2)	0,71 (1)	0,82 (2)	0,91 (0)
13	0,84	0,81	0,92	1,01
14	1,15	1,07	1,14	1,19
15	1,65	1,51	1,57	1,60
16	1,92	1,74	1,80	1,82
vaadittu kerroin =	1,3	1,1	1	1
	Betonipalkki, k/k = 2400, HL = 6			
11	0,61	0,69	0,77	0,88
12	0,77 (0)	0,83 (2)	0,90 (1)	1,01
13	0,93	0,97	1,01	1,12
14	1,29	1,29	1,29	1,34
15	1,89	1,85	1,80	1,85
16	2,19	2,14	2,07	2,12
vaadittu kerroin =	1,3	1,1	1	1

Taulukko B3. Puupalkkisiltojen osavarmuuskertoimet AA90-kuormalle.

suunnittelukuorma	Jänneväli			
	2	4	6	8
	Puupalkki, k/k = 580/730, HL = 5			
11	0,43	0,41 (1)	0,39 (2)	0,43
12	0,86	0,6 (1)	0,55	0,59
13	1,28 (3)	0,79 (9)	0,7 (2)	0,74 (2)
14	0,87	0,69	0,6 (1)	0,58
15	1,34	1,08	0,95	0,94
16	1,58	1,29	1,14	1,12
27	1	0,85 (1)	0,78	0,86 (2)
28	1	1	1	1 (1)
vaadittu kerroin =	2	1,6	1,6	1,6

Taulukko B4. Teräspalkkisiltojen osavarmuuskertoimet AA90-kuormalle.

	Jännemitta			
	4	6	8	10
suunnittelukuorma	Puukantinen teräspalkkisilta, k/k=1200, HL=5			
11	0,42	0,39 (1)	0,42	0,47
12	0,61	0,54	0,56 (3)	0,6 (1)
13	0,79	0,68	0,7	0,74 (1)
14	0,86	0,75	0,74	0,74
15	1,34	1,18	1,16	1,16
16	1,58	1,4	1,38	1,37
27	1,05 (5)	0,98 (4)	1,07	1,11
28	1,23	1,23	1,23	1,23
vaadittu kerroin =	1,3	1,1	1,1	1
suunnittelukuorma	Puukantinen teräspalkkisilta, k/k=1600, HL=5			
11	0,29	0,31	0,36	0,4
12	0,41	0,43	0,47	0,51
13	0,54	0,55	0,58	0,62
14	0,86	0,75	0,75	0,75
15	1,34	1,18	1,17	1,16
16	1,58	1,4	1,38	1,37
27	1,05 (1)	0,98	1,07 (1)	1,11
28	1,23	1,23	1,23	1,23
vaadittu kerroin =	1,3	1,1	1,1	1
suunnittelukuorma	Puukantinen teräspalkkisilta, k/k=1600, HL=6			
11	0,35	0,38	0,43	0,47
12	0,51	0,52	0,57	0,61
13	0,66	0,67	0,7	0,74
14	0,86	0,83	0,82	0,81
15	1,34	1,3	1,28	1,27
16	1,58	1,54	1,52	1,5
27	1,05	1,07	1,18	1,21
28	1,23	1,36	1,35	1,35
vaadittu kerroin =	1,3	1,1	1,1	1
suunnittelukuorma	Betonikantinen teräspalkkisilta, k/k=1600, HL=5			
11	0,39	0,44	0,49	0,54
12	0,5	0,54	0,59	0,63 (1)
13	0,6	0,64	0,68	0,71
14	0,89	0,81	0,81	0,81
15	1,33	1,18	1,17	1,17
16	1,55	1,38	1,37	1,36
27	1,07	1	1,09	1,12
28	1,23	1,23	1,23	1,23
vaadittu kerroin =	1,3	1,1	1,1	1

LIITE C. Pitkien siltojen osavarmuuskertoimet AA90-kuormalle. Suluissa on esitetty kyseisen siltatyyppin määrät (vain kantavuudeltaan puutteellisten siltojen kohdalla).

Taulukko C1. Betonipalkkisiltojen kokonaisvarmuudet AA90-kuormalle. Jännemitta = 20 m.

20 m		
	Betoni HL < 6	Betoni HL > 6
Yksiaukkoinen		
suunnittelukuorma		
11	0,74 (0)	0,72 (0)
12	0,78 (2)	0,77 (1)
13	0,83 (0)	0,82 (1)
14	0,94 (0)	0,93 (0)
15	1,27	1,27
16	1,47	1,48
vaadittu kerroin =	1,30	1,00
3-aukkoinen, reunakenttä		
suunnittelukuorma		
11	0,68 (0)	0,67 (0)
12	0,74 (1)	0,72 (1)
13	0,79 (0)	0,78 (0)
14	0,91 (0)	0,90 (0)
15	1,28	1,29
16	1,51	1,52
vaadittu kerroin =	1,30	1,10
3-aukkoinen, tuki		
suunnittelukuorma		
11	0,84	0,83
12	0,87	0,85
13	0,89	0,88
14	0,92	0,91
15	1,10	1,10
16	1,26	1,26
vaadittu kerroin =	1,10	1,10
3-aukkoinen, keskikenttä		
suunnittelukuorma		
11	0,62	0,61
12	0,68	0,67
13	0,74	0,73
14	0,88	0,88
15	1,30	1,30
16	1,55	1,56
vaadittu kerroin =	1,30	1,10

Taulukko C2. Teräspalkkisiltojen kokonaisvarmuudet AA90-kuormalle. Jännemitta = 20 m.

sillan kansi:	20 m			
	Teräs, HL < 6		Teräs, HL > 6	
	puu	betoni	puu	betoni
Yksiaukkoinen				
suunnittelukuorma				
11	0,44	0,56	0,45	0,59
12	0,50 (2)	0,60 (1)	0,50 (1)	0,63
13	0,57 (1)	0,66	0,57 (1)	0,68 (1)
14	0,72	0,78	0,72	0,79
15	1,16 (2)	1,14	1,16 (3)	1,13
16	1,44	1,36	1,43	1,33
vaadittu kerroin =	1,50	1,30	1,20	1,10
3-aukkoinen, reunakenttä				
suunnittelukuorma				
11	0,43	0,52	0,43	0,54
12	0,49	0,57	0,50	0,60
13	0,56	0,63	0,56	0,65
14	0,71	0,76	0,71	0,77
15	1,17	1,15 (2)	1,17	1,14
16	1,46	1,39	1,45	1,37
vaadittu kerroin =	1,50	1,40	1,20	1,10
3-aukkoinen, tuki				
suunnittelukuorma				
11	0,56	0,66	0,56	0,69
12	0,59	0,68	0,59	0,71
13	0,62	0,71	0,63	0,74
14	0,67	0,75	0,68	0,77
15	0,93	0,95	0,93	0,96
16	1,16	1,13	1,16	1,12
vaadittu kerroin =	1,30	1,20	1,30	1,10
3-aukkoinen, keskikenttä				
suunnittelukuorma				
11	0,40	0,48	0,41	0,50
12	0,47	0,53	0,47	0,55
13	0,54	0,60	0,54	0,61
14	0,70	0,74	0,70	0,75
15	1,17	1,16	1,17	1,15
16	1,46	1,41	1,46	1,40
vaadittu kerroin =	1,50	1,40	1,10	1,10

Taulukko C3. Teräspalkkisiltojen kokonaisvarmuudet AA90-kuormalle. Jännemitta = 60 m.

sillan kansi:	60 m		Teräs, HL > 6	
	Teräs, HL < 6 puu	betoni	puu	betoni
Yksiaukkoinen				
suunnittelukuorma				
11	0,78	0,85	0,78	0,86
12	0,76	0,84	0,77	0,85
13	0,81	0,87	0,82	0,89
14	0,90	0,93	0,90	0,94
15	1,09	1,07	1,09	1,07
16	1,32	1,24	1,31	1,22
vaadittu kerroin =	1,30	1,10	1,10	1,00
3-aukkoinen, reunakenttä				
suunnittelukuorma				
11	0,77	0,83	0,78	0,85
12	0,77	0,83	0,77	0,84
13	0,81	0,86	0,82	0,87
14	0,89	0,92	0,90	0,93
15	1,10	1,08	1,10	1,08
16	1,35	1,28	1,34	1,25
vaadittu kerroin =	1,30	1,10	1,10	1,00
3-aukkoinen, tuki				
suunnittelukuorma				
11	1,08	1,06	1,08	1,06
12	1,03	1,03	1,03	1,03
13	1,05	1,04	1,05	1,04
14	1,12	1,09	1,12	1,08
15	1,25	1,17	1,24	1,16
16	1,53	1,36	1,51	1,32
vaadittu kerroin =	1,30	1,00	1,10	1,00
3-aukkoinen, keskikenttä				
suunnittelukuorma				
11	0,76	0,81	0,77	0,83
12	0,75	0,80	0,76	0,82
13	0,80	0,84	0,80	0,86
14	0,90	0,92	0,90	0,93
15	1,12	1,10	1,11	1,09
16	1,39	1,32	1,38	1,30
vaadittu kerroin =	1,30	1,20	1,10	1,00

Taulukko C4. Teräspalkkisiltojen kokonaisvarmuudet AA90-kuormalle. Jännemitta = 100 m.

sillan kansi:	100 m Teräs, HL < 6		Teräs, HL > 6	
	puu	betoni	puu	betoni
Yksiaukkoinen				
suunnittelukuorma				
11	0,87	0,93	0,90	0,94
12	0,74	0,84	0,78	0,86
13	0,76	0,86	0,81	0,88
14	0,95	0,98	0,96	0,98
15	1,07	1,05	1,06	1,05
16	1,31	1,20	1,26	1,18
vaadittu kerroin =	1,00	1,00	1,10	1,00
3-aukkoinen, reunakenttä				
suunnittelukuorma				
11	0,87	0,92	0,89	0,93
12	0,71	0,81	0,75	0,83
13	0,74	0,83	0,78	0,85
14	0,95	0,98	0,96	0,98
15	1,09	1,07	1,08	1,06
16	1,35	1,24	1,31	1,22
vaadittu kerroin =	1,00	1,00	1,10	1,00
3-aukkoinen, tuki				
suunnittelukuorma				
11	1,42	1,24	1,34	1,21
12	1,11	1,07	1,09	1,07
13	1,13	1,08	1,11	1,07
14	1,43	1,24	1,34	1,21
15	1,58	1,32	1,46	1,28
16	1,95	1,52	1,75	1,45
vaadittu kerroin =	1,10	1,00	1,10	1,00
3-aukkoinen, keskikenttä				
suunnittelukuorma				
11	0,90	1,16	0,92	0,94
12	0,69	0,96	0,72	0,80
13	0,72	0,99	0,75	0,82
14	0,96	1,21	0,97	0,98
15	1,11	1,34	1,10	1,08
16	1,38	1,59	1,35	1,27
vaadittu kerroin =	1,00	1,00	1,10	1,00

LIITE D. Lyhyiden siltojen kokonaisvarmuuskertoimet todellisille kuormille

Taulukoissa D1 – D11 on esitetty siltojen kokonaisvarmuuskertoimet todellisille kuormille laskettuina kuormien 95 % ja kestävyys 5 % fraktiiliarvoilla.

Taulukko D1. Betonilaattasilta, laatan paksuus = 200 mm ja sorakerroksen paksuus on 200 mm HL = 5 m

Ajoneuvo	Jänneväli			
	2	4	6	8
Suunnittelukuorma 11				
Akselimassatutkimus	0,44	0,49	0,58	0,63
Metsäkonekuljetus	0,45	0,45	0,58	0,64
Nosturi	0,4	0,39	0,5	0,5
Murskainkuljetus	0,35	0,29	0,37	0,41
Suunnittelukuorma 12				
Akselimassatutkimus	0,69	0,57	0,63	0,67
Metsäkonekuljetus	0,71	0,53	0,63	0,68
Nosturi	0,62	0,45	0,55	0,54
Murskainkuljetus	0,56	0,35	0,41	0,44
Suunnittelukuorma 13				
Akselimassatutkimus	0,95	0,66	0,69	0,72
Metsäkonekuljetus	0,96	0,61	0,69	0,73
Nosturi	0,85	0,52	0,6	0,57
Murskainkuljetus	0,76	0,4	0,44	0,47
Suunnittelukuorma 14				
Akselimassatutkimus	0,95	0,85	0,82	0,82
Metsäkonekuljetus	0,96	0,79	0,82	0,84
Nosturi	0,85	0,68	0,72	0,66
Murskainkuljetus	0,76	0,52	0,53	0,54
Suunnittelukuorma 15				
Akselimassatutkimus	1,36	1,17	1,06	1,03
Metsäkonekuljetus	1,38	1,08	1,06	1,05
Nosturi	1,22	0,93	0,92	0,82
Murskainkuljetus	1,09	0,71	0,68	0,68
Suunnittelukuorma 16				
Akselimassatutkimus	1,57	1,34	1,19	1,14
Metsäkonekuljetus	1,6	1,24	1,19	1,16
Nosturi	1,41	1,07	1,03	0,92
Murskainkuljetus	1,26	0,81	0,76	0,75

Taulukko D2. Betonilaattasilta, laatan paksuus = 200 mm ja sorakerroksen paksuus = 200 mm. HL = 6 m.

Ajoneuvo	Jänneväli			
	2	4	6	8
Suunnittelukuorma 11				
Akselimassatutkimus	0,45	0,54	0,63	0,72
Metsäkonekuljetus	0,46	0,5	0,63	0,74
Nosturi	0,4	0,43	0,55	0,58
Murskainkuljetus	0,36	0,33	0,41	0,48
Suunnittelukuorma 12				
Akselimassatutkimus	0,71	0,65	0,71	0,8
Metsäkonekuljetus	0,72	0,6	0,71	0,81
Nosturi	0,63	0,52	0,62	0,64
Murskainkuljetus	0,56	0,39	0,46	0,53
Suunnittelukuorma 13				
Akselimassatutkimus	0,96	0,75	0,79	0,87
Metsäkonekuljetus	0,98	0,7	0,79	0,89
Nosturi	0,86	0,6	0,69	0,7
Murskainkuljetus	0,77	0,46	0,51	0,58
Suunnittelukuorma 14				
Akselimassatutkimus	0,96	1	0,99	1,04
Metsäkonekuljetus	0,98	0,92	0,99	1,06
Nosturi	0,86	0,8	0,86	0,84
Murskainkuljetus	0,77	0,61	0,63	0,69
Suunnittelukuorma 15				
Akselimassatutkimus	1,39	1,41	1,33	1,38
Metsäkonekuljetus	1,41	1,3	1,33	1,4
Nosturi	1,25	1,12	1,16	1,11
Murskainkuljetus	1,11	0,85	0,85	0,92
Suunnittelukuorma 16				
Akselimassatutkimus	1,61	1,62	1,51	1,56
Metsäkonekuljetus	1,63	1,5	1,51	1,59
Nosturi	1,44	1,29	1,31	1,26
Murskainkuljetus	1,29	0,98	0,97	1,04

Taulukko D3. Betonilaattasilta, laatan paksuus = 400 mm ja sorakerroksen paksuus = 400 mm. HL = 5 m.

Ajoneuvo	Jänneväli			
	2	4	6	8
Suunnittelukuorma 11				
Akselimassatutkimus	0,55	0,66	0,72	0,79
Metsäkonekuljetus	0,56	0,62	0,72	0,8
Nosturi	0,5	0,55	0,65	0,67
Murskainkuljetus	0,46	0,44	0,51	0,58
Suunnittelukuorma 12				
Akselimassatutkimus	0,76	0,73	0,76	0,82
Metsäkonekuljetus	0,77	0,69	0,77	0,83
Nosturi	0,69	0,61	0,69	0,7
Murskainkuljetus	0,63	0,49	0,54	0,6
Suunnittelukuorma 13				
Akselimassatutkimus	0,97	0,8	0,81	0,85
Metsäkonekuljetus	0,98	0,75	0,81	0,87
Nosturi	0,88	0,67	0,72	0,73
Murskainkuljetus	0,8	0,53	0,57	0,63
Suunnittelukuorma 14				
Akselimassatutkimus	0,97	0,95	0,91	0,93
Metsäkonekuljetus	0,98	0,9	0,91	0,94
Nosturi	0,88	0,8	0,82	0,79
Murskainkuljetus	0,8	0,64	0,64	0,68
Suunnittelukuorma 15				
Akselimassatutkimus	1,31	1,21	1,09	1,09
Metsäkonekuljetus	1,33	1,14	1,09	1,1
Nosturi	1,2	1,01	0,98	0,92
Murskainkuljetus	1,08	0,81	0,76	0,8
Suunnittelukuorma 16				
Akselimassatutkimus	1,49	1,34	1,18	1,17
Metsäkonekuljetus	1,51	1,26	1,18	1,19
Nosturi	1,36	1,12	1,06	0,99
Murskainkuljetus	1,23	0,9	0,83	0,86

Taulukko D4. Betonilaattasilta, laatan paksuus = 400 mm ja sorakerroksen paksuus = 400 mm. HL = 6 m.

Ajoneuvo	Jänneväli			
	2	4	6	8
Suunnittelukuorma 11				
Akselimassatutkimus	0,58	0,72	0,79	0,87
Metsäkonekuljetus	0,59	0,68	0,79	0,88
Nosturi	0,53	0,6	0,71	0,75
Murskainkuljetus	0,48	0,49	0,56	0,65
Suunnittelukuorma 12				
Akselimassatutkimus	0,81	0,81	0,85	0,93
Metsäkonekuljetus	0,82	0,76	0,85	0,94
Nosturi	0,74	0,68	0,77	0,79
Murskainkuljetus	0,67	0,55	0,6	0,69
Suunnittelukuorma 13				
Akselimassatutkimus	1,04	0,9	0,91	0,98
Metsäkonekuljetus	1,06	0,85	0,91	1
Nosturi	0,95	0,75	0,82	0,84
Murskainkuljetus	0,86	0,61	0,65	0,73
Suunnittelukuorma 14				
Akselimassatutkimus	1,04	1,11	1,07	1,11
Metsäkonekuljetus	1,06	1,04	1,07	1,13
Nosturi	0,95	0,93	0,96	0,95
Murskainkuljetus	0,86	0,75	0,76	0,83
Suunnittelukuorma 15				
Akselimassatutkimus	1,42	1,45	1,34	1,37
Metsäkonekuljetus	1,45	1,36	1,34	1,39
Nosturi	1,3	1,21	1,21	1,17
Murskainkuljetus	1,18	0,98	0,95	1,02
Suunnittelukuorma 16				
Akselimassatutkimus	1,62	1,63	1,49	1,51
Metsäkonekuljetus	1,65	1,53	1,49	1,53
Nosturi	1,48	1,36	1,34	1,29
Murskainkuljetus	1,34	1,1	1,05	1,12

Taulukko D5. Betonipalkkisilta, k/k = 2 m, HL = 5 m.

Ajoneuvo	Jänneväli			
	4	6	8	10
Suunnittelukuorma 11				
Akselimassatutkimus	0,43	0,46	0,56	0,65
Metsäkonekuljetus	0,39	0,46	0,57	0,65
Nosturi	0,33	0,39	0,43	0,47
Murskainkuljetus	0,25	0,27	0,34	0,41
Suunnittelukuorma 12				
Akselimassatutkimus	0,54	0,55	0,64	0,73
Metsäkonekuljetus	0,5	0,55	0,66	0,73
Nosturi	0,42	0,46	0,49	0,54
Murskainkuljetus	0,31	0,33	0,4	0,47
Suunnittelukuorma 13				
Akselimassatutkimus	0,65	0,63	0,72	0,81
Metsäkonekuljetus	0,59	0,63	0,74	0,81
Nosturi	0,5	0,53	0,56	0,59
Murskainkuljetus	0,38	0,38	0,45	0,52
Suunnittelukuorma 14				
Akselimassatutkimus	0,88	0,83	0,9	0,95
Metsäkonekuljetus	0,81	0,83	0,92	0,95
Nosturi	0,69	0,7	0,69	0,7
Murskainkuljetus	0,52	0,5	0,56	0,62
Suunnittelukuorma 15				
Akselimassatutkimus	1,28	1,17	1,23	1,28
Metsäkonekuljetus	1,17	1,17	1,26	1,28
Nosturi	0,99	0,99	0,96	0,95
Murskainkuljetus	0,74	0,7	0,77	0,83
Suunnittelukuorma 16				
Akselimassatutkimus	1,48	1,35	1,41	1,45
Metsäkonekuljetus	1,36	1,35	1,44	1,45
Nosturi	1,15	1,15	1,1	1,09
Murskainkuljetus	0,87	0,81	0,89	0,95

Taulukko D6. Betonipalkkisilta, $k/k = 2,4$ m, $HL = 6$ m.

Ajoneuvo	Jänneväli			
	4	6	8	10
Suunnittelukuorma 11				
Akselimassatutkimus	0,47	0,54	0,6	0,71
Metsäkonekuljetus	0,43	0,54	0,62	0,71
Nosturi	0,36	0,45	0,46	0,52
Murskainkuljetus	0,27	0,32	0,37	0,45
Suunnittelukuorma 12				
Akselimassatutkimus	0,6	0,65	0,7	0,81
Metsäkonekuljetus	0,55	0,65	0,72	0,81
Nosturi	0,46	0,55	0,54	0,59
Murskainkuljetus	0,35	0,39	0,43	0,52
Suunnittelukuorma 13				
Akselimassatutkimus	0,72	0,75	0,8	0,9
Metsäkonekuljetus	0,66	0,75	0,82	0,9
Nosturi	0,56	0,64	0,62	0,67
Murskainkuljetus	0,42	0,45	0,49	0,58
Suunnittelukuorma 14				
Akselimassatutkimus	1	1,01	1,01	1,08
Metsäkonekuljetus	0,91	1,01	1,03	1,08
Nosturi	0,78	0,85	0,78	0,8
Murskainkuljetus	0,58	0,61	0,63	0,7
Suunnittelukuorma 15				
Akselimassatutkimus	1,45	1,44	1,41	1,48
Metsäkonekuljetus	1,33	1,44	1,45	1,48
Nosturi	1,13	1,22	1,1	1,11
Murskainkuljetus	0,85	0,87	0,89	0,97
Suunnittelukuorma 16				
Akselimassatutkimus	1,69	1,66	1,63	1,69
Metsäkonekuljetus	1,55	1,66	1,66	1,69
Nosturi	1,32	1,42	1,27	1,27
Murskainkuljetus	0,99	1,01	1,02	1,11

Taulukko D7. Puupalkkisilta, $k/k = 0,58 / 0,73$ m, $HL = 5-6$ m.

Ajoneuvo	Jänneväli			
	2	4	6	8
Suunnittelukuorma 11				
Akselimassatutkimus	0,32	0,35	0,34	0,38
Metsäkonekuljetus	0,33	0,32	0,34	0,39
Nosturi	0,28	0,26	0,27	0,27
Murskainkuljetus	0,25	0,19	0,18	0,20
Suunnittelukuorma 12				
Akselimassatutkimus	0,63	0,51	0,47	0,51
Metsäkonekuljetus	0,64	0,46	0,47	0,53
Nosturi	0,56	0,38	0,38	0,36
Murskainkuljetus	0,49	0,27	0,25	0,27
Suunnittelukuorma 13				
Akselimassatutkimus	0,94	0,67	0,61	0,65
Metsäkonekuljetus	0,96	0,60	0,61	0,67
Nosturi	0,83	0,50	0,49	0,46
Murskainkuljetus	0,73	0,36	0,32	0,35
Suunnittelukuorma 14				
Akselimassatutkimus	0,64	0,59	0,51	0,51
Metsäkonekuljetus	0,65	0,53	0,51	0,53
Nosturi	0,56	0,44	0,42	0,36
Murskainkuljetus	0,49	0,32	0,27	0,28
Suunnittelukuorma 15				
Akselimassatutkimus	0,98	0,92	0,82	0,82
Metsäkonekuljetus	1,00	0,83	0,82	0,84
Nosturi	0,87	0,69	0,67	0,58
Murskainkuljetus	0,76	0,50	0,44	0,44
Suunnittelukuorma 16				
Akselimassatutkimus	1,16	1,10	0,98	0,98
Metsäkonekuljetus	1,18	0,99	0,98	1,01
Nosturi	1,02	0,82	0,80	0,70
Murskainkuljetus	0,90	0,59	0,53	0,53
Suunnittelukuorma 27				
Akselimassatutkimus	0,73	0,72	0,67	0,75
Metsäkonekuljetus	0,75	0,65	0,67	0,77
Nosturi	0,65	0,54	0,55	0,53
Murskainkuljetus	0,57	0,39	0,36	0,41
Suunnittelukuorma 28				
Akselimassatutkimus	0,73	0,85	0,86	0,87
Metsäkonekuljetus	0,75	0,76	0,86	0,89
Nosturi	0,65	0,63	0,70	0,62
Murskainkuljetus	0,57	0,46	0,46	0,47

Taulukko D8. Puukantinen teräspalkkisilta, k/k = 1,2 m, HL = 5-6 m.

Ajoneuvo	Jänneväli			
	4	6	8	10
Suunnittelukuorma 11				
Akselimassatutkimus	0,36	0,33	0,37	0,42
Metsäkonekuljetus	0,32	0,33	0,38	0,42
Nosturi	0,27	0,27	0,26	0,27
Murskainkuljetus	0,19	0,18	0,2	0,23
Suunnittelukuorma 12				
Akselimassatutkimus	0,52	0,46	0,49	0,55
Metsäkonekuljetus	0,47	0,46	0,51	0,55
Nosturi	0,39	0,37	0,35	0,36
Murskainkuljetus	0,28	0,25	0,27	0,3
Suunnittelukuorma 13				
Akselimassatutkimus	0,67	0,59	0,61	0,67
Metsäkonekuljetus	0,61	0,59	0,63	0,67
Nosturi	0,5	0,48	0,44	0,44
Murskainkuljetus	0,36	0,32	0,33	0,37
Suunnittelukuorma 14				
Akselimassatutkimus	0,73	0,65	0,65	0,67
Metsäkonekuljetus	0,66	0,65	0,67	0,67
Nosturi	0,55	0,53	0,46	0,44
Murskainkuljetus	0,4	0,35	0,36	0,37
Suunnittelukuorma 15				
Akselimassatutkimus	1,14	1,01	1,02	1,04
Metsäkonekuljetus	1,03	1,02	1,05	1,04
Nosturi	0,85	0,83	0,73	0,7
Murskainkuljetus	0,62	0,55	0,56	0,59
Suunnittelukuorma 16				
Akselimassatutkimus	1,34	1,21	1,21	1,23
Metsäkonekuljetus	1,22	1,21	1,24	1,24
Nosturi	1,01	0,99	0,87	0,83
Murskainkuljetus	0,74	0,66	0,67	0,7
Suunnittelukuorma 27				
Akselimassatutkimus	0,9	0,84	0,94	1
Metsäkonekuljetus	0,81	0,84	0,96	1
Nosturi	0,67	0,69	0,68	0,67
Murskainkuljetus	0,49	0,46	0,52	0,57
Suunnittelukuorma 28				
Akselimassatutkimus	1,05	1,06	1,07	1,11
Metsäkonekuljetus	0,95	1,06	1,11	1,11
Nosturi	0,79	0,87	0,78	0,75
Murskainkuljetus	0,57	0,58	0,6	0,63

Taulukko D9. Puukantinen teräspalkkisilta, $k/k = 1,6 \text{ m}$, $HL = 5 \text{ m}$.

Ajoneuvo	Jänneväli			
	4	6	8	10
Suunnittelukuorma 11				
Akselimassatutkimus	0,25	0,27	0,31	0,36
Metsäkonekuljetus	0,22	0,27	0,32	0,36
Nosturi	0,18	0,22	0,22	0,23
Murskainkuljetus	0,13	0,15	0,17	0,2
Suunnittelukuorma 12				
Akselimassatutkimus	0,35	0,37	0,41	0,46
Metsäkonekuljetus	0,32	0,37	0,42	0,46
Nosturi	0,26	0,3	0,29	0,3
Murskainkuljetus	0,19	0,2	0,22	0,25
Suunnittelukuorma 13				
Akselimassatutkimus	0,46	0,47	0,51	0,56
Metsäkonekuljetus	0,41	0,47	0,52	0,56
Nosturi	0,34	0,38	0,36	0,37
Murskainkuljetus	0,25	0,25	0,28	0,31
Suunnittelukuorma 14				
Akselimassatutkimus	0,73	0,65	0,65	0,67
Metsäkonekuljetus	0,66	0,65	0,67	0,68
Nosturi	0,55	0,53	0,47	0,45
Murskainkuljetus	0,4	0,35	0,36	0,38
Suunnittelukuorma 15				
Akselimassatutkimus	1,14	1,01	1,02	1,04
Metsäkonekuljetus	1,03	1,02	1,05	1,04
Nosturi	0,85	0,83	0,73	0,7
Murskainkuljetus	0,62	0,55	0,57	0,59
Suunnittelukuorma 16				
Akselimassatutkimus	1,35	1,21	1,2	1,23
Metsäkonekuljetus	1,22	1,21	1,24	1,23
Nosturi	1,01	0,99	0,87	0,83
Murskainkuljetus	0,74	0,66	0,68	0,71
Suunnittelukuorma 27				
Akselimassatutkimus	0,9	0,84	0,94	1
Metsäkonekuljetus	0,81	0,84	0,96	1
Nosturi	0,67	0,69	0,68	0,68
Murskainkuljetus	0,49	0,46	0,52	0,57
Suunnittelukuorma 28				
Akselimassatutkimus	1,05	1,06	1,07	1,11
Metsäkonekuljetus	0,95	1,06	1,1	1,11
Nosturi	0,79	0,87	0,78	0,75
Murskainkuljetus	0,57	0,58	0,6	0,63

Taulukko D10. Puukantinen teräspalkkisilta, k/k = 1,6 m, HL = 6 m.

Ajoneuvo	Jänneväli			
	4	6	8	10
Suunnittelukuorma 11				
Akselimassatutkimus	0,3	0,33	0,37	0,43
Metsäkonekuljetus	0,27	0,33	0,38	0,43
Nosturi	0,22	0,27	0,26	0,28
Murskainkuljetus	0,16	0,18	0,2	0,23
Suunnittelukuorma 12				
Akselimassatutkimus	0,43	0,45	0,49	0,55
Metsäkonekuljetus	0,39	0,45	0,51	0,55
Nosturi	0,32	0,37	0,35	0,36
Murskainkuljetus	0,23	0,24	0,27	0,3
Suunnittelukuorma 13				
Akselimassatutkimus	0,56	0,57	0,61	0,67
Metsäkonekuljetus	0,51	0,58	0,63	0,67
Nosturi	0,42	0,47	0,44	0,44
Murskainkuljetus	0,3	0,31	0,33	0,37
Suunnittelukuorma 14				
Akselimassatutkimus	0,73	0,71	0,71	0,73
Metsäkonekuljetus	0,66	0,71	0,74	0,74
Nosturi	0,55	0,58	0,51	0,49
Murskainkuljetus	0,4	0,39	0,39	0,41
Suunnittelukuorma 15				
Akselimassatutkimus	1,14	1,12	1,12	1,14
Metsäkonekuljetus	1,03	1,12	1,15	1,14
Nosturi	0,85	0,91	0,81	0,77
Murskainkuljetus	0,62	0,61	0,62	0,65
Suunnittelukuorma 16				
Akselimassatutkimus	1,35	1,33	1,33	1,35
Metsäkonekuljetus	1,22	1,33	1,37	1,35
Nosturi	1,01	1,09	0,96	0,91
Murskainkuljetus	0,74	0,73	0,74	0,77
Suunnittelukuorma 27				
Akselimassatutkimus	0,9	0,92	1,03	1,09
Metsäkonekuljetus	0,81	0,92	1,06	1,09
Nosturi	0,67	0,76	0,74	0,74
Murskainkuljetus	0,49	0,51	0,58	0,62
Suunnittelukuorma 28				
Akselimassatutkimus	1,05	1,17	1,18	1,21
Metsäkonekuljetus	0,95	1,17	1,21	1,21
Nosturi	0,79	0,95	0,85	0,82
Murskainkuljetus	0,57	0,64	0,66	0,69

Taulukko D11. Betonikantinen teräspalkkisilta, $k/k = 1,6$ m, $HL = 5$ m.

Ajoneuvo	Jänneväli			
	4	6	8	10
Suunnittelukuorma 11				
Akselimassatutkimus	0,33	0,38	0,43	0,48
Metsäkonekuljetus	0,30	0,38	0,44	0,48
Nosturi	0,25	0,32	0,32	0,33
Murskainkuljetus	0,19	0,22	0,25	0,29
Suunnittelukuorma 12				
Akselimassatutkimus	0,42	0,46	0,51	0,56
Metsäkonekuljetus	0,38	0,46	0,52	0,56
Nosturi	0,32	0,39	0,38	0,39
Murskainkuljetus	0,24	0,27	0,30	0,33
Suunnittelukuorma 13				
Akselimassatutkimus	0,51	0,55	0,59	0,64
Metsäkonekuljetus	0,47	0,55	0,60	0,64
Nosturi	0,39	0,46	0,44	0,44
Murskainkuljetus	0,29	0,31	0,34	0,38
Suunnittelukuorma 14				
Akselimassatutkimus	0,76	0,70	0,70	0,72
Metsäkonekuljetus	0,69	0,70	0,72	0,73
Nosturi	0,58	0,58	0,53	0,51
Murskainkuljetus	0,43	0,40	0,41	0,43
Suunnittelukuorma 15				
Akselimassatutkimus	1,13	1,02	1,02	1,04
Metsäkonekuljetus	1,03	1,02	1,04	1,04
Nosturi	0,86	0,85	0,76	0,73
Murskainkuljetus	0,64	0,59	0,60	0,62
Suunnittelukuorma 16				
Akselimassatutkimus	1,32	1,19	1,19	1,21
Metsäkonekuljetus	1,20	1,19	1,22	1,21
Nosturi	1,01	0,99	0,89	0,85
Murskainkuljetus	0,75	0,68	0,70	0,73
Suunnittelukuorma 27				
Akselimassatutkimus	0,91	0,86	0,95	1,00
Metsäkonekuljetus	0,83	0,86	0,97	1,00
Nosturi	0,69	0,72	0,71	0,70
Murskainkuljetus	0,51	0,50	0,56	0,60
Suunnittelukuorma 28				
Akselimassatutkimus	1,05	1,06	1,07	1,10
Metsäkonekuljetus	0,95	1,06	1,10	1,10
Nosturi	0,80	0,88	0,80	0,77
Murskainkuljetus	0,59	0,61	0,63	0,66

LIITE E. Kantavuudeltaan puutteellisten siltojen, jotka eivät ole painorajoitettuja tai tehostetussa tarkkailussa, toimenpidekustannukset tiepiireittäin ja siltatyypeittäin.

Taulukko E1. Toimenpideryhmä 1.

Siltatyyppi	Määrä	Erikois- tarkastus	Kantavuus- laskenta	Peruskorjaus (arvio)	Yhteensä
Uusimaa					
Muu betonisilta	1	800	2 000	30 100	32 900
Turku					
Puusilta	2	1 500	4 000	87 800	93 300
Terässilta	9	6 800	18 000	647 300	672 100
Kaakkois-Suomi					
Muu betonisilta	1	800	2 000	67 700	70 500
Häme					
Betonilaatta	3	2 300	6 000	37 000	45 300
Muu betonisilta	2	1 500	4 000	83 000	88 500
Puusilta	1	800	2 000	13 200	16 000
Terässilta	2	1 500	4 000	57 200	62 700
Savo-Karjala					
Betonilaatta	1	800	2 000	9 800	12 600
Puusilta	1	800	2 000	13 900	16 700
Terässilta	2	1 500	4 000	135 800	141 300
Keski-Suomi					
Betonilaatta	1	800	2 000	14 300	17 100
Muu betonisilta	1	800	2 000	21 300	24 100
Terässilta	3	2 300	6 000	107 600	115 900
Vaasa					
Terässilta	21	15 800	42 000	822 700	880 500
Oulu					
Muu betonisilta	1	800	2 000	92 300	95 100
Puusilta	1	800	2 000	28 600	31 400
Terässilta	3	3 800	10 000	201 500	215 300
Lappi					
Terässilta	3	800	2 000	35 500	38 300

Taulukko E2. Toimenpideryhmä 2.

Siltatyyppi	Määrä	Päällysrak. uusiminen	Peruskorjaus (alusrak. ym.)	Yhteensä
Turku				
Betonilaatta	2	30 500	22 000	52 500
Betonilaatta	1	13 000	11 000	24 000
Kaakkois-Suomi				
Betonilaatta	2	25 700	22 000	47 700
Muu betonisilta	1	29 400	11 000	40 400
Terässilta	2	114 400	22 000	136 400
Häme				
Puusilta	2	38 100	22 000	60 100
Savo-Karjala				
Betonilaatta	2	21 400	22 000	43 400
Terässilta	3	308 300	33 000	341 300
Keski-Suomi				
Betonilaatta	2	30 700	22 000	52 700
Muu betonisilta	1	49 000	11 000	60 000
Terässilta	2	61 900	22 000	83 900
Vaasa				
Betonilaatta	1	20 900	11 000	31 900
Muu betonisilta	1	28 400	11 000	39 400
Terässilta	8	463 300	88 000	551 300
Oulu				
Terässilta	3	243 000	33 000	276 000

Taulukko E3. Toimenpideryhmä 4.

Siltatyyppi	Määrä	Uusiminen ja loppuunk.	Erikois-tarkastus	Tehostettu tarkkailu	Yhteensä
Uusimaa					
Betonilaatta	7	216 600	14 000	11 200	241 800
Turku					
Puusilta	1	158 200	2 000	1 600	161 800
Terässilta	1	97 800	2 000	1 600	101 400
Kaakkois-Suomi					
Puusilta	2	64 200	4 000	3 200	71 400
Häme					
Betonilaatta	5	145 600	10 000	8 000	163 600
Puusilta	9	484 900	18 000	14 400	517 300
Savo-Karjala					
Betonilaatta	5	108 200	10 000	8 000	126 200
Puusilta	2	150 100	4 000	3 200	157 300
Keski-Suomi					
Puusilta	1	30 000	2 000	1 600	33 600
Vaasa					
Betonilaatta	4	117 500	8 000	6 400	131 900
Muu betonisilta	3	194 900	6 000	4 800	205 700
Terässilta	2	136 000	4 000	3 200	143 200
Lappi					
Terässilta	1	160 300	2 000	1 600	163 900

ISSN 1457-9871
ISBN 951-803-514-4
TIEH 3200941